

1862. ANNALEN No. 2.  
DER PHYSIK UND CHEMIE.  
BAND CXV.

---

I. Ueber die durch Temperaturverschiedenheit  
sich berührender Körper verursachten Töne;  
von C. Sondhaufs.

(Schluss von S. 86)

4. Ueber die Einrichtung des erwärmten Wiegers.

Die Grösse respective das Gewicht und die Gestalt des Wiegers haben ebenfalls auf das Gelingen des Versuchs grossen Einfluss. Ich habe mich überzeugt, dass kleinere und leichtere Wieger, als gewöhnlich gebraucht werden, entschieden vorzuziehen sind, nicht blos, weil zu ihrer Erwärmung sowie zu ihrer Abkühlung weniger Zeit erforderlich ist, und deshalb die mit denselben anzustellenden Beobachtungen in kürzerer Zeit ausgeführt werden können, sondern auch, weil die durch die Wärme entwickelte Kraft jedenfalls kleinere Massen leichter als grössere in Bewegung setzen kann<sup>1)</sup>. Dass kleinere Wieger besser tönen als grössere, ist nicht zu verkennen, wenn man dieselben nach einander auf derselben Unterlage spielen lässt; um jedoch durch das Experiment nachzuweisen, dass ein kleinerer Wieger unter übrigens gleichen Umständen bei einer niedrigeren Temperatur tönt als ein grösserer, habe ich mit zwei kupfernen Wiegern, deren Dimensionen schon angegeben worden sind, in der Weise einige vergleichende Ver-

1) Diefs ist von den früheren Beobachtern schon bemerkt worden. Tyndall sagt, Ann. Bd. 94, S. 619, dass man bessere Resultate erhält, wenn man den Wieger dadurch leichter macht, dass man seine obere Fläche concav hobelt.

suche angestellt, daß ich beide unmittelbar nach einander auf derselben Unterlage tönen liefs und die Temperatur bestimmte, bis zu welcher herab sie anhaltend oscillirten. Der kleinere dieser beiden Wieger ist derselbe, welcher bei den schon angeführten Versuchen gebraucht wurde; der grössere wiegt 240 Grm. und übt, wenn er mit dem cylindrischen Gefässe behufs der Temperaturbestimmung versehen ist, auf die Unterlage einen Druck von etwa 170 Grm. aus. Der grössere Wieger, welcher verhältnißmässig immer noch klein zu nennen ist und nur 76 Grm. mehr als der kleinere wiegt, oscillirt und tönt auf allen in der zweiten Columnne der folgenden Tabelle genannten Unterlagen vortrefflich und sehr lange; aber doch, wie bei der Beobachtung entschieden hervortritt, weniger gut als der andere. Die Temperatur, welche an dem mit dem Wieger verbundenen sinkenden Thermometer abgelesen worden ist, war, wie die beiden letzten Columnen zeigen, bei Anwendung des kleineren Wiegers zuletzt beim Aufhören des Tons immer niedriger als bei den entsprechenden Versuchen mit dem grösseren Wieger. Merkwürdig ist, daß die Grösse der Wieger bei Anwendung der Unterlagen in Form von Blechen auf die Temperaturgränze der Oscillationen einen viel geringeren Einfluß gehabt hat (Versuch 8 bis 11) als bei den Versuchen, wo die Wieger auf ebenen Platten oscillirten. Da die auf den scharfen Schneiden der Bleche von den Kanten der Wieger eingeschlagenen Vertiefungen dem Erfolge des Versuchs eher hinderlich seyn müssen, so sollte man gerade erwarten, daß die Nachtheile der grösseren Wieger bei der Anwendung von Blechen mehr hervortreten müßten, namentlich bei dem Bleiblech. Bezüglich der Körper, die als Unterlagen dienten, habe ich noch zu bemerken, daß die Steinsalzplatte in den Versuchen No. 5 von einem grösseren krystallinischen Stück Steinsalz aus Wieliczka abgespalten war, und daß der Wieger mit seinem vordern Ende auf die ebene und blanke Spaltfläche gelegt wurde. In den Versuchen No. 6 diente als Unterlage ein Stück Metallspiegel. Diese Legirung ist sehr hart

und spröde und besteht nach der von Dr. Poleck gemachten Analyse aus 69,5 Kupfer und 30,5 Zinn. Die übrigen Unterlagen sind die in den schon besprochenen Versuchen angewendeten.

Tabelle II.

| No. | Unterlage.                   | Der kleinere<br>Wieger<br>tönt bis | Der größere<br>Wieger<br>tönt bis |
|-----|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1   | Blei                         | 31° R.                             | 39° R.                            |
| 2   | Zink                         | 37°                                | 49°                               |
| 3   | Kadmium                      | 44°                                | 50°                               |
| 4   | Zinn                         | 40°                                | 49°                               |
| 5   | Steinsalz                    | 36°                                | 50°                               |
| 6   | Legirung von Kupfer und Zinn | 44°                                | 50°                               |
| 7   | Stahl, gehärtet              | 39°                                | 54°                               |
| 8   | Bleiblech                    | 38°                                | 40°                               |
| 9   | Zinkblech                    | 29°                                | 31°                               |
| 10  | Kadmiumblech                 | 30°                                | 33°                               |
| 11  | Eisenblech                   | 38°                                | 41°                               |

Dafs ein größerer Druck des Wiegers auf die Unterlage die Oscillationen erschwert, und dafs zur Erlangung derselben dann eine höhere Temperatur erforderlich ist, läfst sich auch mit Einem Wieger nachweisen, indem man denselben zuerst in der Weise auf eine Schneide legt, dafs sein Schwerpunkt sich ziemlich senkrecht über der Schneide befindet. Rückt man ihn, nachdem er in der angegebenen Lage während der Abnahme der Temperatur so lange als möglich in Schwingung erhalten worden ist, so weit zurück, dafs das vorderste Ende der Kanten auf der Schneide liegt, so fängt er von neuem an zu tönen und tönt noch geraume Zeit. Mit dem kleinen Kupferwieger liefs sich dies ganz entschieden nachweisen, obgleich der von ihm auf die Unterlage ausgeübte Druck in dem einen Falle nicht viel über 50 Grm. gröfser seyn konnte als in dem andern. Belastet man den Wieger dadurch, dafs man das auf die obere Fläche desselben geschraubte Gefäfs mit Quecksilber füllt, und läfst den Wieger bei der abnehmenden Temperatur vollständig ausschwingen, so kann man ihn mehrere Mal

wieder zum Tönen bringen, wenn man einen Theil des Quecksilbers ausgießt.

Wenn die Verringerung des Drucks, welchen der Wieger auf die Unterlage ausübt, das Gelingen des Versuchs erleichtert, so giebt es auch hier wahrscheinlich eine Gränze, über welche man bei der Erleichterung des Wiegers nicht hinausgehen darf.

Die Zweckmäßigkeit der Gestalt des Wiegers hängt von der Vertheilung seiner Masse in Beziehung auf die beiden Berührungspunkte mit der Unterlage ab. Ich habe, um die Wieger für das Oscilliren empfindlicher zu machen und um gewissermassen ihre Gestalt verändern zu können, die oben erwähnten drei Drähte mit verschiebbaren Kugeln dem Apparate hinzugefügt und dadurch ein wesentliches Hülfsmittel erlangt, um mit wenig geeigneten Unterlagen noch Erfolg bei dem Versuche zu erzielen und im Allgemeinen bei möglichst geringer Erwärmung der Wieger von denselben noch dauernde Oscillationen zu erhalten. Der beste Erfolg zeigte sich in den meisten Fällen bei der Anwendung der horizontalen Drähte, der Schwingkolben, woraus folgt, daß es am zweckmäßigsten seyn würde, die Wieger breiter zu machen; in einigen Fällen, d. h. wenn gewisse Körper als Unterlage angewendet wurden, ergab sich die Anwendung des aufrechten Pendels als zweckmäßiger. Solche Körper sind z. B. Wismuth, Steinsalz und Iodkalium, auf welchen Wieger von etwas größerer Höhe, als meine Wieger haben, besser schwingen müßten. Dagegen müßten meine Wieger noch flacher seyn, wenn sie auf Zinn, Zink, Eisen und Stahl den besten Erfolg geben sollten. Diefs läßt sich aus dem Umstande schließen, daß die Anwendung der Schwingkolben sich zweckmäßig zeigte, das aufrechte Pendel aber den Oscillationen des Wiegers auf den genannten Metallunterlagen sogar hinderlich war. Es giebt also keine Form des Wiegers, welche für alle Unterlagen gleich zweckmäßig wäre. Daß der Schwerpunkt des Wiegers genau in der Mitte liegt, ist keine wesentliche Bedingung; denn ich habe die symmetrische Ver-



theilung der Masse dadurch gestört, daß ich nur den einen horizontalen Draht an der Seite einschraubte, und gefunden, daß der Wieger dennoch gut tönt.

In der folgenden Tabelle sind als Beleg für die obigen Angaben einige Versuche mitgetheilt, bei welchen der kleinere Kupferwieger, sowohl ohne Armirung, als auch mit dem aufrechten Pendel und den Schwingkolben versehen, gebraucht wurde. Ueber die angewendeten Unterlagen muß ich einige Bemerkungen vorausschicken. Bei den Versuchen No. 1 bis 10 sind Unterlagen in der Form von Platten angewendet, die übrigen Versuche sind mit Blechen angestellt. Die Platten in No. 1, 2, 3, 4 und 7 sind dieselben, die in den schon beschriebenen Versuchen angewendet wurden; die Platten in No. 5 und 6 sind aus käuflichem Wismuth und Antimon gegossen und wahrscheinlich nicht ganz rein; die Platte in No. 8 ist von einem größeren krystallinischen Stück von grünem Flussspath abgespalten und mit der Feile geebnet. Der Bergkrystall in No. 9 ist eine kleine sechsseitige Säule von etwa 5 Millimeter Dicke, welche auf die Marmorplatte so gekittet wurde, daß der Wieger auf der nach oben gekehrten ebenen Seitenfläche oscillirte. Ich bemerke, daß der nicht armirte Wieger schon sehr heiß gemacht werden muß, ehe er auf Bergkrystall anspricht; dann oscillirt er aber so lange, bis er sich ein wenig unter  $80^{\circ}$  R. abgekühlt hat. Der armirte Wieger spricht mit derselben Unterlage leicht an. Das Iodkalium in No. 10 wurde geschmolzen und in Plattenform gegossen, da ein brauchbarer Krystall nicht zu erlangen war. Der kupferne Wieger zeigte auf Iodkalium ein eigenthümliches Verhalten, indem er ohne Armirung auf dieser Unterlage auch bei Anwendung großer Hitze nicht zum Oscilliren gebracht werden konnte, dagegen sowohl mit dem aufrechten Pendel, als mit den Schwingkolben bei mäßiger Erwärmung anhaltend tönte. Das Gold- und Silberblech, No. 11 und 12, war sehr dünn gewalzt und daher nicht zugeschräfft; die übrigen Bleche sind die schon bei den früheren Versuchen gebrauchten.

Es ist in gewissen Fällen zweckmäßig, die Kugeln auf dem aufrechten Pendel und den Schwingkolben an verschiedenen Stellen zu befestigen, und es gelingt durch eine andere Einstellung der Kugeln oft trotz der fortschreitenden Abkühlung des Wiegers die Oscillationen auf's neue zu erhalten; bei den mitzutheilenden Versuchen waren aber absichtlich die Kugeln immer bis an das Ende der Drähte vorgeschoben, um die Versuche vergleichen zu können.

Tabelle III.

| No. | Unterlage               | Der kupferne Wiegert lönte |                                       |                                   |
|-----|-------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
|     |                         | nicht armirt<br>bis        | mit dem auf-<br>rechten Pendel<br>bis | mit dem<br>Schwingkol-<br>ben bis |
| 1   | Blei                    | 29° R.                     | 27° R.                                | 27° R.                            |
| 2   | Zinn                    | 37° »                      | 39° »                                 | 33° »                             |
| 3   | Zink                    | 41° »                      | 49° »                                 | 36° »                             |
| 4   | Stahl, gehärtet         | 39° »                      | 56° »                                 | 30° »                             |
| 5   | Wismuth                 | 80° »                      | 44° »                                 | 49° »                             |
| 6   | Antimon                 | 135° »                     | 70° »                                 | 70° »                             |
| 7   | Steinsalz               | 35° »                      | 28° »                                 | 36° »                             |
| 8   | Flussspath              | 63° »                      | 54° »                                 | 49° »                             |
| 9   | Bergkrystall            | 80° » —                    | 52° »                                 | 48° »                             |
| 10  | Iodkalium               | —                          | 52° »                                 | 57° »                             |
| 11  | Blech von feinem Silber | 50° »                      | 36° »                                 | 27° »                             |
| 12  | Blech von Dukatengold   | 44° »                      | 30° »                                 | 29° »                             |
| 13  | Eisenblech              | 38° »                      | 32° »                                 | 33° »                             |
| 14  | Bleiblech               | 37° »                      | 28° »                                 | 28° »                             |
| 15  | Zinkblech               | 29° »                      | 30° »                                 | 27° »                             |

##### 5. Noch einige den Erfolg begünstigende Umstände.

Der gute und sichere Erfolg bei dem Trevelyan-Versuche ist, wenn man in Beziehung auf Unterlage und Wiegert die zweckmäßigsten Einrichtungen getroffen hat, noch abhängig von der größten Sauberkeit dieser Theile des Apparats. Daher müssen die Unterlagen durch Abfeilen und Schaben oft gereinigt und der Wiegert fleißig geputzt werden. Das Blei läuft außerordentlich schnell an und wirkt dann viel schlechter. Die Bleiplatten müssen daher vor jedem Ver-

suche gereinigt werden. Eine Bleiplatte, welche mehrere Tage nicht gebraucht und gereinigt worden war, aber immer noch metallischen Glanz hatte, zeigte sich schon, wenn die Temperatur des kupfernen Wiegers bis  $50^{\circ}$  R. gesunken war, so wenig wirksam, daß dem Wieger in kurzen Intervallen durch Anstöße nachgeholfen werden mußte, um bis  $33^{\circ}$  R. herab von ihm die Oscillation zu erhalten. Nachdem die Bleiplatte gereinigt worden war, tönnte derselbe Wieger auf ihr, während das Thermometer von  $52^{\circ}$  R. bis  $33,5^{\circ}$  R. sank in einem Zuge und oscillirte dann nach einer leichten Berührung mit einem Bleistifte noch energisch tönend weiter, bis das Thermometer auf  $29^{\circ}$  R. stand. Eine dünne Schicht Oel ist dem Erfolge des Versuchs hinderlich. Davon sey der folgende Versuch ein Nachweis. Ich fuhr über eine Bleiplatte, auf welcher der Kupferwieger so eben bis  $33^{\circ}$  R. herab oscillirt hatte, mit dem Finger, den ich an einer Oelflasche ölicht gemacht hatte, leicht hinweg und wischte hierauf die Bleiplatte mit Löschpapier ab. Der Wieger war jetzt unterhalb  $52^{\circ}$  R. nicht mehr zum Tönen zu bringen, tönnte aber gleich wieder und zwar bis  $37^{\circ}$  R. herab, nachdem ich die gewiß sehr dünne Oelschicht mittelst eines mit Alkohol befeuchteten leinenen Lappens hinweggenommen hatte.

Auch die Sauberkeit des Wiegers ist von großem Einflusse. Wieger, welche stark erhitzt gewesen sind, tönen bei niedriger Temperatur viel schlechter und zeigen erst dann wieder den früheren guten Erfolg, wenn sie vollständig abgekühlt und gereinigt worden sind. Ob dieß Verhalten bloß aus der Veränderung der Oberfläche zu erklären sey, oder ob eine durch die starke Erhitzung herbeigeführte Veränderung der molecularen Verhältnisse sich erst wieder ausgleichen müsse, lasse ich dahingestellt seyn. Ich habe möglichst vermieden, die Wieger stärker zu erhitzen als durchaus nothwendig war.

Die Aufstellung des gesammten Apparats auf dem Experimentirtische hat auf das Gelingen des Versuchs ebenfalls Einfluß, weil die Oscillationen des Wiegers durch die

Reaction der mitschwingenden Unterlage und der damit verbundenen gleichfalls mitschwingenden Körper unterstützt werden können. Der oscillirende Wieger ist für jede Störung oder Aenderung der Oscillationen der Unterlage empfindlich, wie leicht zu bemerken ist, wenn man den Apparat, an welchen die Unterlage befestigt ist, oder auch nur den Tisch berührt, oder eine tönende Stimmgabel darauf setzt. Erschütterungen im Nachbarhause durch Zuschlagen von Thüren, das Vorbeifahren eines Wagens auf der Straße führen nicht selten Störungen des Versuchs herbei, wenn die abnehmende Temperatur des Wiegers von der Gränze des Versuchs nicht mehr weit entfernt ist. Als Beleg, daß der Wieger bei niedriger Temperatur tönt, wenn die Unterlage besser mitschwingen kann, mag folgender Versuch dienen. Auf einer oblongen Marmorplatte, deren Länge, Breite und Dicke respective 13,8 und 1,5 Centimeter ungefähr beträgt, sind an den entgegengesetzten Enden der längeren Mittellinie eine zur Unterlage bestimmte Bleiplatte und ein winklich gebogenes Bleiblech befestigt. Wenn man einen erwärmten Wieger mit der vordern Ecke auf die Platte und mit dem Stiel auf die Kante des Blechs legt, so gelingt der Versuch vortrefflich<sup>1)</sup>. Der Ton ist kräftig, und der Tisch, auf welchem die Marmorplatte liegt, oscillirt hörbar und fühlbar mit. Wenn der Wieger sich soweit abgekühlt hat, daß er nicht mehr in dauernde Schwingungen versetzt werden kann, so braucht man nur die Marmorplatte mit zwei Fingern an den Seiten zu fassen und den ganzen Apparat von dem Tische in die Höhe zu heben, um die Schwingungen sofort wieder zu erhalten. Der Ton ist aber jetzt, da der Tisch nicht mehr mitschwingt, hart und klanglos, und mehr ein Klirren zu nennen. Wenn der in der Hand gehaltene Apparat nicht mehr oscilliren will, so kann man ihn dadurch noch einmal zum Tönen bringen, daß man ihn auf einen Resonanzkasten mit dünner, leicht beweglicher Decke, etwa auf ein umgekehrtes leeres Cigarrenkistchen setzt, auf wel-

1) Ich kann diese Einrichtung wegen ihrer Einfachheit und der Sicherheit des Erfolges zu Collegien-Versuchen empfehlen.

chem er noch längere Zeit gut tönt<sup>1)</sup>). Ich habe den Versuch mit dem Thermometer verfolgt und gefunden, daß, wenn der Apparat auf dem bloßen Tische stand, der Wieger zu oscilliren aufhörte, wenn seine Temperatur bis  $44^{\circ}$  R. gesunken war, daß er dagegen auf dem Resonanzkasten weiter tönte, bis das Thermometer bei drei Versuchen respective  $34^{\circ}$  R.,  $39^{\circ}$  R. und  $35^{\circ}$  R. anzeigte. Bei der Anwendung des oben beschriebenen vollständigen Apparats tönte der bei den in Rede stehenden Versuchen gebrauchte kleinere Kupferwieger bei einer noch niedrigeren Temperatur, weil einige zufällige Unebenheiten des Experimentirtisches benutzt wurden, den Apparat so zu stellen, daß er leicht kleine seitliche Schwankungen machen konnte. Der Apparat wird dadurch gewiß viel empfindlicher; er muß aber auch immer wieder in derselben Weise aufgestellt werden, wenn die Versuche übereinstimmende und vergleichbare Resultate geben sollen.

Nach dem Vorgehenden sollte man erwarten, daß große und schwere Stücke Blei wegen ihrer relativen Unbeweglichkeit zu Unterlagen für den Wieger wenig geeignet seyn müßten; ich habe mich aber durch Versuche, welche ich mit einem 26 Pfund schweren Bleiklotz angestellt habe, überzeugt, daß der oscillirende Wieger auch eine große Masse in so energische Schwingungen versetzt, daß man die Oscillationen des Bleies überall mit der Hand fühlen und das tiefe Mittönen des Tisches hören kann, wenn man das Ohr auf denselben legt. Das angewendete Bleistück hatte

- 1) Die Anwendung eines solchen empfindlichen Resonanzbodens führte zu einem niedlichen Versuche, der mir erwähnenswerth scheint. Legt man auf den Boden eines umgekehrten Cigarrenkistchens kleine würfelförmliche Stückchen Steinsalz, so kann man heißgemachte Geldstücke auf dieser Unterlage anhaltend tönen lassen. Ein russischer Platinruble, ein Louisd'or, ein sächsisches Zwei-Neugroschenstück und ein Dreipfennig gaben singende, meistens ziemlich hohe Töne. Wenn ich die Steinsalzzstückchen auf den Tisch legte, so konnte ich darauf heiße Geldstücke wohl zum Zittern, aber nicht zum anhaltenden Tönen bringen. Feiner Sand, welcher auf die singenden Münzen gestreut wurde, zeigte keine Bewegung.

die halbeylindrische Gestalt der käuflichen Bleibarren und lag auf der untern Fläche, obgleich dieselbe nicht gerade eben war, wegen seines bedeutenden Gewichts doch fest. Der Wieger wurde auf die obere convexe Fläche in der Längsrichtung so gelegt, daß er mit dem vordern Ende auf eine blank geschabte Stelle zu liegen kam, und wurde an seinem Stiele durch ein winkelförmig gebogenes Bleiblech unterstützt, welches auch auf dem Bleiklotze ruhte. Der Ton ist energisch, hart und klirrend und in Beziehung auf Charakter und Höhe veränderlich, obgleich der auf diese Weise eingerichtete Apparat von Erschütterungen und anderen äußeren Einwirkungen weniger gestört wird als der Apparat mit leichter Unterlage. Man fühlt, wenn man das Bleistück anfast, daß seine Masse zittert, der Ton wird aber durch eine schon ziemlich kräftige Berührung nicht gestört oder verändert. Die Bestimmung der Temperatur gab das überraschende aber wiederholt erlangte Resultat, daß der Wieger bei diesem Versuche bis zu einer sehr niedrigen Temperatur tönte. Der nicht armirte kleine kupferne Wieger tönte nämlich, während das mit ihm verbundene Thermometer von  $40^{\circ}$  R. bis  $28^{\circ}$  R. sank. Hierauf wurde der Wieger mit den beiden horizontalen Schwingkolben versehen, und fing derselbe in Folge dieser Ausrichtung wieder an zu tönen. Der Ton dauerte fort bis die Temperatur auf  $21^{\circ}$  R. gesunken war. Diefs ist die niedrigste Temperatur, bei welcher ich bis jetzt die Oscillationen der Wieger beobachtet habe. Da die Temperatur der Luft im Zimmer  $14,2^{\circ}$  R. betrug, und anzunehmen ist, daß die Temperatur der großen Bleimasse davon nicht sehr verschieden gewesen seyn kann, so dürfte in diesem Falle die Temperaturdifferenz zwischen Wieger und Unterlage nicht viel über  $7^{\circ}$  R. betragen haben. Es dürfte hiernach nicht schwer seyn, einen Wieger durch die Sonnenstrahlen so weit erwärmen zu lassen, daß er auf einem Stück Blei oscillirt.

Sind alle Bedingungen für das Eintreten der Erscheinungen entschieden vorhanden, so fangen die Wieger in der Regel sofort nach dem Auflegen von selbst zu tönen

an, oder es genügt eine leise Berührung, ein kleiner Anstoß, um dieselben in Schwingung zu versetzen. In vielen Fällen ist aber dazu eine besondere durch Uebung zu erlangende Geschicklichkeit und viele Geduld erforderlich. Stöße, welche den Wieger in Schwankungen versetzen, sind sehr oft vergeblich, während kleine, leichte Schläge, welche manchmal rasch hintereinander zu wiederholen sind, den Anfang der Erscheinung herbeiführen. Manchmal ist sogar die Stelle, an welcher der Schlag dem Wieger versetzt wird, von Wichtigkeit für das Gelingen des Versuches. Allgemeine Regeln lassen sich darüber nicht geben; doch dürfte die Bemerkung nützlich seyn, daß die leichten Hölzen, welche den Wieger mehr erschüttern als bewegen, sich besonders wirksam gezeigt haben, wenn harte Körper als Unterlage gebraucht wurden.

#### 6. Einige Resultate der Versuche.

Ich habe in dem Vorangehenden meinen Apparat und das Verfahren bei den Beobachtungen deswegen so ausführlich beschrieben, damit die Ergebnisse meiner Versuche, welche mit der recipirten Ansicht über den Trevelyan-Versuch zum Theil im Widerspruch stehen, einiges Vertrauen erregen und andere Physiker zur Wiederholung und Erweiterung meiner Versuche veranlassen möchten. Die zweckmäßige Anwendung des Trevelyan-Instruments scheint mir Aufschluß über die Cohäsionsverhältnisse der Körper zu versprechen und dürfte in Zukunft auch ein bequemes diagnostisches Werkzeug zur Unterscheidung mancher Substanzen, besonders von Legirungen liefern. Die Reinheit des Bleies läßt sich mit dem Apparate gewiß sicher prüfen, ebenso wie sich Zink von Kadmium damit sicher unterscheiden läßt.

Die Versuche, welche ich mit Wiegern aus Kupfer, Eisen, Silber, Messing, Zink, Neusilber, Antimon, Wismuth, Blei, Zinn und Graphit auf Unterlagen aus verschiedener Substanz mit günstigem Erfolge angestellt habe, sind sehr umfangreich und dürften sich schon deshalb zur ausführlichen



Mittheilung nicht eignen. Ich beschränke mich deshalb auf auf einige Bemerkungen und Andeutungen über einzelne Experimente und auf die Zusammenstellung einiger Versuche, welche ich mit Wiegern aus Kupfer, Eisen, Silber und Antimon gemacht habe.

Wir verdanken den Untersuchungen der früheren Beobachter, namentlich Trevelyan und Tyndall, schon den Nachweis, daß eine große Anzahl von Körpern zu Unterlagen für den heißen Wieger geeignet ist. Ich kann zur Verlängerung der Reihe dieser Körper einen kleinen Beitrag liefern; denn der Versuch gelingt bei meiner Einrichtung des Apparats auch mit folgenden als Unterlage probirten Körpern ganz sicher und zum Theil bei niedriger Temperatur, nämlich mit Nickel, Aluminium, Palladium, Neusilber, Schwefelkies, Glanzkobalt, Bleiglanz, Bitterspath, Diopsid, Feuerstein, Granat und Topas. Auf Glas ist es den früheren Beobachtern schon gelungen, Erzitterungen des Wiegers zu erhalten. Nach mehreren vergeblichen Versuchen gelang es mir endlich dadurch, daß ich die horizontalen Schwingkolben am Wieger mit doppelt so großen Kugeln versah, oder auch beide Paare von Kugeln combinirte, auf weißem Spiegelglase den kupfernen und auch den eisernen Wieger in so anhaltende Oscillationen zu versetzen, daß ich einen deutlichen Ton hörte. Es wollte mir scheinen, als wenn der Versuch mit dem eisernen Wieger, welcher das eine Mal elf Minuten ununterbrochen tönte, etwas besser gelänge. Noch schwieriger als auf Glas gelingt der Versuch, wenn man den Wieger auf Kalkspath, Turmalin oder Kryolith legt. Entschieden negativ war das Resultat der wiederholten Versuche, bei welchen ich einen Beryllkrystall als Unterlage anwendete.

Ein Versuch, welcher mit einer Unterlage aus einer Substanz mißlingt, ist noch kein Beweis, daß diese Substanz überhaupt zur Hervorrufung der Erscheinung nicht geeignet sey; denn verschiedene Exemplare derselben Species, verschiedene Individuen von derselben Krystallform, ja sogar einige Flächen desselben Krystalles zeigen, mit dem heißen

Wieger untersucht, ein verschiedenes Verhalten. Ich verdankte Hrn. Prof. Marbach die Gelegenheit, eine Anzahl schöner Schwefelkieskrystalle zu untersuchen, mit welchen derselbe seine thermo-elektrischen Versuche angestellt hat. Der kupferne Wieger tönte auf allen geprüften Würfel- und Octaederflächen der Schwefelkiese; aber es zeigte sich in Beziehung auf die zum Gelingen des Versuchs erforderliche Temperatur schon eine Verschiedenheit im Verhalten einzelner Krystalle und Flächen, wobei zu bemerken ist, daß die Beschaffenheit der Fläche nach den sonstigen Erfahrungen oft gerade das entgegengesetzte Verhalten erwarten liefs. Bei der Anwendung der eisernen Wieger trat diese Verschiedenheit noch deutlicher hervor, indem der Versuch mit einzelnen Krystallen gelang, mit andern entschieden mißlang. Die Krystalle, welche Hr. Marbach als negativ bezeichnet hatte, zeigten sich im Allgemeinen geeigneter zu dem Versuche. Daß Elektrizität bei dem Trevelyan-Versuche mitwirke, scheint mir nicht wahrscheinlich; doch dürfte die Vermuthung gerechtfertigt seyn, daß gleiche Cohäsionsverhältnisse auch einen ähnlichen Einfluß auf die Bewegung der Wärme und der Elektrizität ausüben.

Die Versuche, welche ich mit Wiegern aus verschiedenen Metallen angestellt habe, zeigten, daß ein Wieger aus einem die Wärme besser leitenden Metalle in den meisten Fällen allerdings besser tönt als wie ein Wieger aus einem schlechteren Wärmeleiter, und daß im Allgemeinen kupferne und silberne Wieger die geeignetsten sind; in nicht wenigen Fällen tönt aber der Wieger aus dem schlechteren Wärmeleiter auf gewissen Unterlagen besser und bei niedrigerer Temperatur. Auf Bleiglanz z. B. tönt unter übrigen gleichen Umständen ein eiserner Wieger entschieden besser als ein kupferner, ein Wieger aus feinem Silber dagegen wieder besser als der eiserne. Merkwürdig ist das Verhalten eines Wiegers aus Antimon. Derselbe tönte auf einer Wismuthsplatte besser als auf einer Bleiplatte, zeigte auf Iodkalium sich wirksamer als der Kupferwieger und oscillirte auf Steinsalz, Flußspath und Bergkrystall ganz ent-

schieden und zum Theil bei niedriger Temperatur, konnte aber auf Unterlagen wie Zinn, Zink, Kadmium, Neusilber und Eisen, welche für den kupfernen Wieger sehr geeignet sind, nicht in dauernde Oscillationen versetzt werden. Die Reihenfolge, in welcher verschiedene Körper zu Unterlagen geeignet sind, ist demnach, wie sich auch aus anderen Versuchen ergeben hat, eine andere, wenn ein Wieger aus einem anderen Metalle bei dem Versuche angewendet wird.

Auf eine nähere Erörterung dieser Verhältnisse einzugehen, muß ich mir für jetzt versagen, da ich sonst die Gränzen dieser Mittheilung überschreiten würde. Die in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellten Beobachtungen dürften übrigens schon den Nachweis liefern, daß die von A. Seebeck aufgestellten Gesetze wohl im Großen und Ganzen das Verhalten der heißen Wieger zu den Unterlagen ausdrücken, auf Allgemeinheit aber nicht mehr Anspruch machen können.

Bei den Versuchen, deren Resultate die Tabelle IV enthält, wurden die Unterlagen in der Form von dünnen und zugeschärften Blechen angewendet, und die Wieger waren überall mit den horizontalen Schwingkolben versehen; bei den Versuchen der Tabelle V dagegen oscillirten die meistens nicht armirten Wieger auf der ebenen Fläche der plattenförmigen Unterlagen. Wo der Versuch mit dem nicht armirten Wieger nicht gelingt, oder die Temperaturbestimmung bei Anwendung des aufrechten Pendels oder der Schwingkolben von Interesse zu seyn schien, ist der Temperaturangabe ein  $p$  oder  $s$  vorgesetzt. Für einige Versuche, bei welchen das Thermometer nicht mehr angewendet werden konnte, habe ich mit  $L$  diejenige Temperatur bezeichnen wollen, wo der Leidenfrost'sche Versuch auf dem heißen Wieger nicht mehr gelingt, nach meiner Vermuthung etwa  $130^{\circ}$  bis  $150^{\circ}$  R. Die Versuche, auf welche sich die Angaben in den beiden letzten Columnen beziehen, sind nicht mit soliden Wiegern aus feinem Silber und aus Antimon angestellt, sondern mit dem oben beschriebenen eisernen Wieger, welcher mit passenden Einsatzstücken aus

den genannten Metallen versehen war. Die als Unterlagen angewendeten Körper sind größtentheils dieselben, welche bei den schon mitgetheilten Versuchen gebraucht wurden. Das Blech aus der Legirung von Blei und Zinn in No. 2 der Tabelle IV enthält nach einer Analyse von Dr. Poleck 72,3 Theile Blei und 27,7 Theile Zinn. Die Unterlagen in No. 6 und 7 waren von käuflichem Messing- und Neusilberblech genommen. Das Wismuthblech in No. 15 war dünn gegossen und mit der Feile zugeschräfft. In No. 7 der Tabelle V war ein kleiner Würfel aus Nickel, wie es im Handel vorkommt, die Unterlage. Interessant war es mir, ein Stück Wood'sches Metall, welches ich von Prof. P. Ries erhielt, mit den erwärmten Wiegern untersuchen zu können. Die leichtflüssige Legirung von 15 Theilen Wismuth, 8 Theilen Blei, 4 Theilen Zinn und 3 Theilen Kadmium, welche bei 68° C. schmelzen soll, zeigte sich für Wieger aus Silber, Kupfer, Eisen als geeignete Unterlage, wenn die Wieger mit horizontalen Schwingkolben versehen worden waren. Wendet man die Wieger nicht armirt an, so gelingt der Versuch nicht, weil die Wood'sche Metall-Legirung weich wird und schmilzt, ehe die Wieger die zur Erzeugung anhaltender Oscillationen erforderliche Temperatur erreicht haben. Das angewendete Stück dieser Legirung wurde mittelst des oben erwähnten kleinen Schraubstocks befestigt; es hatte aber eine Dicke von 2,5 Millimeter, so daß es nicht als Blech anzusehen ist. Die Minuszeichen zeigen wie in den früheren Tabellen an, daß der Wieger auf der betreffenden Unterlage nicht in dauernde Oscillationen versetzt werden konnte.

Tabelle IV.

| No. | Die Unterlage waren Bleche von | Wieger mit Schwingkolben.    |                             |                              |                                 |
|-----|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|     |                                | Der kupferne Wieger tönt bis | Der eiserne Wieger tönt bis | Der silberne Wieger tönt bis | Der Wieger von Antimon tönt bis |
| 1   | Blei                           | 27° R.                       | 37° R.                      | 26° R.                       | 45° R.                          |
| 2   | Legirung von Blei u. Zinn      | 30°                          | 39°                         | 31°                          | 57°                             |
| 3   | Zink                           | 27°                          | 52°                         | 23°                          | —                               |
| 4   | Kadmium                        | 28°                          | 35°                         | 25°                          | 80—°                            |
| 5   | Zinn                           | 45°                          | 47°                         | 38°                          | L                               |
| 6   | Messing                        | 30°                          | 33°                         | 24°                          | 80+°                            |
| 7   | Neusilber                      | 31°                          | 29°                         | 35°                          | 63°                             |
| 8   | Eisen                          | 49°                          | L                           | 39°                          | —                               |
| 9   | Stahl                          | 42°                          | 62°                         | 36°                          | —                               |
| 10  | Kupfer                         | 33°                          | 80+°                        | 29°                          | —                               |
| 11  | Silber                         | 27°                          | 33°                         | 27°                          | —                               |
| 12  | Gold                           | 28°                          | 29°                         | 33°                          | —                               |
| 13  | Platin, sehr dünn              | 38°                          | 40°                         | 41°                          | 87+°                            |
| 13  | » etwas stärker                | 42°                          | 50°                         | 38°                          | —                               |
| 14  | Palladium                      | 45°                          | 65°                         | 32°                          | —                               |
| 15  | Wismuth                        | 70°                          | 70°                         | 54°                          | 80+°                            |

Tabelle V.

| No. | Die Unterlagen waren Platten von: | Der kupferne Wieger tönt bis | Der eiserne Wieger tönt bis | Der silberne Wieger tönt bis | Der Wieger von Antimon tönt bis |
|-----|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| 1   | Blei                              | 29° R.                       | 30° R.                      | 31° R.                       | p 86° R.                        |
| 2   | Zink                              | 37°                          | —                           | 46°                          | —                               |
| 3   | Kadmium                           | 44°                          | 70°                         | 43°                          | —                               |
| 4   | Zinn                              | 40°                          | 52°                         | 43°                          | —                               |
| 5   | Stahl                             | 39°                          | 53°                         | 47°                          | —                               |
| 6   | Schmiedeeisen                     | 60°                          | —                           | 66°                          | —                               |
| 7   | Nickel                            | 83°                          | —                           | 60°                          | —                               |
| 8   | Wismuth                           | 80°                          | 150°                        | 58°                          | 120° p 80°                      |
| 9   | Neusilber                         | 42°                          | 70°                         | 47°                          | —                               |
| 10  | Wood'sches Metall                 | s 32°                        | s 39°                       | s 30°                        | —                               |
| 11  | Steinsalz                         | 35°                          | 40°                         | 40°                          | 105° p 49°                      |
| 12  | Flusspath                         | 63°                          | 110°                        | 66°                          | p 108°                          |
| 13  | Iodkalium                         | s 57°                        | s 54°                       | 97° s 43°                    | 105° p 46°                      |
| 14  | Bergkrystall                      | 80° p 52°                    | 150° p 55°                  | 80° s 54°                    | s L                             |
| 15  | Bleiglanz                         | s 80+°                       | s 68°                       | s 58°                        | s L                             |

Ich schliesse diese Mittheilungen mit einigen Bemerkungen über die bei diesen Versuchen hörbar werdenden Töne und die Schwingungsweise des Wiegers. Von einer genaueren Beobachtung dieser Töne dürfte, wie mir scheint, ein besonderer Aufschluss über die Erscheinung nicht zu hoffen seyn, weil diese Töne von dem Mitschwingen der mit dem Apparate zusammenhängenden Körper, namentlich des Tisches, abhängig sind. Nimmt man ein Stück Blei in die eine Hand und hält mit der andern den erwärmten Wieger, den man leicht beweglich mit zwei Fingern am Stiele faßt, so gegen die blanke Bleifläche, dafs die vordern Enden der untern Längskanten darauf ruhen, so hört man sehr wenig vom Tone, obgleich man die Oscillationen deutlich fühlt. Diefs ist ein Beweis, dafs die etwa zu bemerkenden musikalischen Eigenschaften des Tons der Resonanz anderer Körper verdankt werden. Die Töne weichen ferner in Beziehung auf ihre Intensität und ihren Charakter in Folge der verschiedenen Härte, Elasticität und anderer Cohäsioneigenschaften der Unterlagen sehr von einander ab und sind bezüglich ihrer Höhe sehr veränderlich. Sie werden immer allmählich höher und zwar meistens in Sprüngen von kleineren oder gröfseren Intervallen, fallen dann wieder zu der früheren Tiefe zurück, oder hören oft plötzlich auf, wenn eine bestimmte Höhe erreicht ist, selbst wenn die Temperatur des Wiegers noch für dauernde Schwingungen hinreicht. Wenn man die Oscillationen durch einen Anstofs wieder eingeleitet hat, so hört man in der Regel zuerst wieder den alten tiefern Ton, der dann wieder allmählich höher wird. Wenn die Abkühlung des Wiegers weiter vorrückt, so verschwinden die ersten tieferen Töne und treten höhere mehr hervor. Bei meinen Wiegern herrschten die Töne *d, e, f, g* aus der grofsen und kleinen Octave am meisten vor, doch traten neben denselben auch tiefere und auch höhere Töne bis zu der zwei- und dreigestrichenen Octave auf. Nicht selten hört man mehrere Töne zu gleicher Zeit. Man kann auch bestimmte Veränderungen des Tons willkürlich herbei-

führen, z. B. zwei Töne mit einander wechseln lassen, wenn man, während der Wieger oscillirt, leichte Schläge von zweckmäßiger Stärke auf bestimmte Stellen desselben ausführt, woraus folgt, daß der Wieger unter übrigens gleichen Umständen mit verschiedener Geschwindigkeit oscilliren kann.

Man kann gewissermaßen in der Bildung des Tons drei Stadien unterscheiden, von welchen das mittlere dasjenige ist, welches man gewöhnlich beobachtet. Während desselben erhält der oscillirende Wieger an den Punkten, wo er die Unterlage momentan berührt, rasch auf einander folgende Stöße, welche seine Schwankungen nach beiden Seiten hin begünstigen und dauernd machen und den durch die Resonanz verstärkten kräftigen Ton erzeugen. Daß die Bewegung des Wiegers in einem Hin- und Herschanken besteht; wobei sich die untern Kanten abwechselnd für einen Augenblick von der Unterlage trennen mögen, zeigte in vielen Fällen der Augenschein, besonders wenn man die Schwingungsweite durch Anwendung des aufrechten Pendels oder der Schwingkolben vergrößert. Die Wellen, welche auf der Oberfläche einer Flüssigkeit in dem auf den Wieger geschraubten cylindrischen Gefäße entstehen, weisen ebenfalls auf eine schwankende Bewegung hin. Dieselbe ist aber bei meinem Apparate, trotz der energischen Oscillationen, an welchen der Tisch laut mittönend Theil nimmt, so gleichmäßig und von so geringer Ausdehnung, daß der Wieger mehr nach beiden Seiten erschüttert, als bewegt zu seyn scheint. Sand und leichte Körper, die man auf die obere Fläche des Wiegers wirft, zeigen keine Bewegung an. Ich habe den Wieger mit kleinen eisernen Nägeln, die ich mit ihren Köpfen auflegte, bedeckt, und nur ausnahmsweise ein leises Zittern und Drehen an einzelnen Nägeln, nie aber eine gemeinsame Bewegung derselben bemerkt. Selbst auf den oberen Flächen der Klemmschrauben, womit die Kugeln an den horizontalen Drähten der Schwingkolben befestigt werden, bleiben die Sandkörner und Nägel unbeweglich liegen. Wenn man diese Er-



scheinung sieht, so dürfte man sich nicht leicht dazu entschließen, hier ein continuirliches Herabfallen des Wiegers von momentan an den wechselnden Berührungspunkten auf der Unterlage entstandenen Erhöhungen anzuerkennen. Diese Annahme dürfte bei der Betrachtung der weiteren Entwicklung der Erscheinung noch schwieriger festzuhalten seyn. Auf den energischen Ton folgt nämlich bei der fortschreitenden Abkühlung ein ganz leiser Ton, mehr ein Summen oder schwaches Klingen, welches man aber bei hinreichender Stille noch ganz deutlich hört, wenn man das Ohr nähert. Auf der Oberfläche der in dem cylindrischen Gefäße mitschwingenden Flüssigkeit, am besten Wasser, erkennt man die sehr schwachen Wellenringe noch deutlich, so daß man den Ton oft noch sehen kann, wenn man zweifelhaft wird, ob man ihn noch höre. Der Tisch nimmt auch an diesen äußerst schwachen Schwingungen noch Theil; denn wenn man das Ohr auf ihn legt, so hört man ihn deutlich mittönen. In diesem letzten Stadium des Tons, welches bei Anwendung mancher Unterlagen, z. B. des Neusilbers, ziemlich lange dauert und keineswegs als ein bloßes Ausschwingen des Wiegers angesehen werden darf, kann von wirklichen Schwankungen des Wiegers und von einem damit verbundenen wechselweisen Abheben seiner Kanten von der Unterlage wohl nicht mehr die Rede seyn. Bei den Tönen aber, welche in die noch zu besprechende Entwicklungsstufe gehören, ist ein Schwanken des Wiegers nach beiden Seiten über zwei Berührungspunkten gänzlich ausgeschlossen, weil zu ihrer Erzeugung bloß ein Berührungspunkt mit der Unterlage nothwendig ist und der Wieger dabei in der Weise festgehalten oder unterstützt werden kann, daß eine Oscillation nach der Seite hin unmöglich ist. Wenn der Wieger nämlich sehr heiß auf eine zu diesem Versuche geeignete Unterlage gelegt wird, so hört man neben den erwähnten tieferen Tönen eigenthümliche hohe Töne aus der zwei- und dreimalgestrichenen Octave, welche sehr energisch sind und oft von einem Kreischen und Schrillen und einem eigenthümlichen Geräusche begleitet sind. Diese

Töne sind von der Resonanz der mittönenden Körper weniger abhängig als die vorhin betrachteten, werden aber doch stärker, wenn man den in der Hand gehaltenen Apparat auf den Tisch setzt. Dafs die Schwingungsweise des Wiegers während dieser Töne eine ganz eigenthümliche ist, geht aus folgendem Versuche hervor. Wenn man, während diese Töne zugleich mit tieferen zusammenwirken, den Stiel des Wiegers vorsichtig fafst und mit leichter Hand festhält, so verschwinden die tiefern Töne und treten die höheren ruhiger und gleichmäfsiger auf. Es gelingt nun bei gehöriger Vorsicht, den Wieger so nach der Seite zu neigen, dafs er nur noch mit einer Kante auf der Unterlage ruht, ohne dafs der fortschrellende hohe Ton dadurch gestört wird. Wenn man den Wieger hinreichend ruhig in dieser schiefen Lage hält, so kann man diesen Ton ziemlich lange fort-dauern lassen; wenn man aber einen kleinen Keil von der Seite her vorsichtig unter den Wieger schiebt, um denselben in der geneigten schiefen Lage auf einem Berührungspunkte stehend zu erhalten, so kann man, wenn diese Operation mit leichter und glücklicher Hand ausgeführt ist, jenen hohen Ton mehrere Minuten lang ununterbrochen beobachten. Derselbe ist noch veränderlicher als die bekannten Töne des Wiegers und trägt nicht sowohl den Charakter der Töne, welche durch stehende Schwingungen eines bestimmten Körpers entstehen, als derjenigen, welche Folge von partiellen Schwingungen unbegrenzter Volumina sind, wie das Pfeifen des Windes, das Quitschen der durch Reibung erschütterten Metall- und Holzmassen. Der Ton wird aber, nachdem er seine Höhe mehrfach geändert und oft überraschend schnell gewechselt hat, auch gleichmäfsig und rein, so dafs man ihn beinahe musikalisch nennen möchte.

Zur Erzeugung dieser Töne sind nicht alle Unterlagen geeignet. Blei hat auch hier wieder den Vorzug; dann folgen Kadmium, Zink, Zinn und Eisen. Auf Flussspath und Steinsalz haben sich, wenn der Wieger sehr heifs war, deutliche Anfänge dieser Töne gezeigt. In Beziehung auf die zum Gelingen des Versuchs erforderliche Temperatur

bemerke ich, daß der Wieger, auch wenn Blei die Unterlage ist, schon recht heiß seyn mußte, um den Anfang der Erscheinung herbei zu führen. Wenn es aber gelungen war, durch den untergeschobenen Keil den Wieger in der schiefen Lage zu unterstützen, ohne daß der Ton aufhörte, so hielt derselbe mehrere Mal so lange an, daß der Wieger sich bis unter den Siedepunkt des Wassers abkühlte. Ich konnte nämlich in das auf den Rücken des Wiegers geschraubte Gefäß Wasser gießen und mich überzeugen, daß auf der Oberfläche desselben sich keine Spur von den bei der geringsten seitlichen Bewegung auftretenden Wellenringen zeigte. Nach dem beendigten Versuche war die Temperatur des Wassers in dem cylindrischen Gefäße etwa 50 bis 60° R.

Die in dem Vorangehenden mitgetheilten Thatfachen weisen nach meiner Ansicht entschieden darauf hin, daß die in Rede stehende Erscheinung nicht durch die Schwankungen des erhitzten Wiegers hervorgerufen oder bedingt ist, sondern daß der als Unterlage dienende kalte Körper durch die Berührung mit dem heißen in eine oscillirende Bewegung versetzt wird, bei welcher der aufliegende Körper, sey es an dem einen Berührungspunkte oder an mehreren, rasch auf einander folgende Stöße erhält und dadurch schwingt und tönt und dabei auch in einer schwankenden Bewegung erhalten werden kann, wenn er zu Folge seiner Construction hinreichend beweglich ist. Es würde sich für diese Ansicht noch Manches anführen lassen; ich muß mich aber für jetzt auf diese Andeutung beschränken, da ein näheres Eingehen auf die hier in Betracht kommenden Verhältnisse zu weit führen würde.

II. Ueber die Gesetze der Vertheilung des Magnetismus in Elektromagneten, bezüglich einiger von Hrn. Prof. Wiedemann in Basel erhobener Bedenken; von Dr. Julius Dub.

Die von mir vor mehreren Jahren veröffentlichten Gesetze über die Vertheilung des Magnetismus in den Magnetkernen und deren Wirkung nach außen <sup>1)</sup> haben einige Physiker deshalb unbefriedigt gelassen, weil diese Gesetze nicht gleichzeitig mathematisch begründet worden sind, während andere Physiker eine umfangreichere experimentelle Bestätigung beanspruchten. Was nun die mathematische Begründung betrifft, so ist dieselbe deshalb bis jetzt noch nicht möglich, weil uns die Kenntniss der Vertheilung des Magnetismus im Innern des Kernes mangelt. Wir müssen uns daher für jetzt mit Experimentaluntersuchungen begnügen, denen allerdings stets Versuchsfehler anhaften, die jedoch bis zu diesen Gränzen immer noch zuverlässiger sind als solche Formeln, denen, wenn sie auch aus allgemeinen Gesichtspunkten entwickelt sind, eine zu große Allgemeinheit beigelegt wird. Zu den Physikern, welche einer auf theoretischem Wege erlangten Formel unbedingt den Vorzug vor einer empirischen geben, selbst wenn die Gränzen der ersteren nicht inne gehalten werden, muss ich Wiedemann rechnen. Obgleich ich nun in dieser Beziehung nicht mit ihm einverstanden bin, so kann ich ihm doch nur Dank wissen, dass er die gewiss nicht von ihm allein gehegten Zweifel gegen einige von mir aufgestellte Sätze ausgesprochen und mir dadurch Veranlassung gegeben hat, auf dieselben näher einzugehen und die erhobenen Zweifel möglichst zu beseitigen.

1) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 248 u. 436; Bd. 94, S. 573; Bd. 102, S. 199; Bd. 104, S. 234 und Bd. 106, S. 83.

Bevor ich zur Darlegung der aufs Neue unternommenen Untersuchungen schreite, wird es gut seyn, noch einmal hervorzuheben, daß in dem Folgenden nach dem Vorgange von Lenz und Jacobi unter »freiem« Magnetismus die Wirkung eines Mangnetkernes auf eine in Entfernung befindliche Magnetnadel, und unter »erregtem« Magnetismus die Menge Magnetismus verstanden wird, welche durch die magnetische Scheidungskraft in jedem einzelnen Querschnitt hervorgerufen, und die gemessen wird durch die inducirende Wirkung, welche ein Magnet auf eine ihn umgebende Drahtspirale ausübt, wenn entweder der Magnetismus in ihm erregt oder aufgehoben wird. Lenz und Jacobi sagen darüber<sup>1)</sup>: »Es versteht sich, daß diese Untersuchung (nämlich die hinsichts des *erregten* Magnetismus) nicht zu verwechseln ist mit der von Coulomb zuerst unternommenen über die Vertheilung des *freien* Magnetismus in einem Magnetstabe. Bei diesen ist die Rede von der Wirkung des Magnetismus auf einen außerhalb befindlichen Punkt, bei unseren Untersuchungen aber wollen wir den definitiven Zustand des Gleichgewichts, gewissermaßen die Spannung kennen lernen, die durch die vertheilende Wirkung der magnetischen Partikel unter sich in jedem Querschnitte des Magneten hervorgerufen wird. Es giebt, wie wir glauben, nur ein Mittel diesen Zustand kennen zu lernen und wirklich zu messen, und dieses bietet uns unsere bisherige Anwendung der Inductionsströme dar, die wir erhalten, wenn wir das magnetische Gleichgewicht der Spannung aufheben und durch Unterbrechung des galvanischen Kreises den Magnetismus verschwinden lassen.« Gehen wir also von der theoretischen Ansicht aus, daß der Magnetismus durch Drehung der Molecularmagnete entstehe und auch wieder verschwinde, so muß der Inductionsstrom, der durch diesen Vorgang auftritt, um so stärker seyn, je mehr Molecüle gedreht werden, und je größer die Drehung derselben ist. Wenn daher in den auf einander folgenden Schichten die Molecüle sich dre-

1) Pogg. Ann. Bd. 61, S. 274.

hen, so wird dadurch ein Inductionsstrom erzeugt, ohne daß deshalb freier Magnetismus bemerkt zu werden braucht. Der *freie* und der *erregte* Magnetismus unterscheiden sich daher auch in ihrer Erscheinung so von einander, daß der freie Magnetismus in der Mitte jedes Magnets Null ist und an den Enden sein Maximum hat, während der erregte Magnetismus umgekehrt von den Enden bis zur Mitte hin wächst.

Die Ausstellungen, welche Wiedemann in seinem Werke: „Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus, Braunschweig 1861,“ gegen die von mir aus meinen Versuchen gezogenen Schlüsse gemacht hat, erstrecken sich auf zwei Abschnitte derselben, nämlich auf die Gesetze der Wirkung des freien und erregten Magnetismus hinsichtlich des *Durchmessers* und der *Länge* der Magnetkerne, welche auf ihrer ganzen Ausdehnung mit der galvanischen Spirale gleichmäßig bedeckt sind.

Die nachfolgenden Experimentaluntersuchungen haben den Zweck, einerseits die wichtigsten der ausgesprochenen Zweifel zu heben, anderseits nachzuweisen, daß die bis jetzt vorhandenen mathematischen Entwicklungen noch keine Zweifel gegen die Zuverlässigkeit der von mir ausgesprochenen Gesetze begründen. Der Natur der Sache gemäß zerfällt die Darlegung in zwei Theile, deren einer die Wirkung der Kerndurchmesser, der andere die Länge der Kerne behandelt.

#### I. Die magnetisirende Wirkung der Magnete von verschiedenem Durchmesser.

1. Ehe ich die Untersuchungen über die Wirkung der Magnetdurchmesser unternahm, waren bereits solche von Lenz und Jacobi und von v. Feilitzsch vorhanden, welche nach der Meinung der Experimentatoren zu dem Resultat geführt hatten, daß *der freie Magnetismus den Durchmessern der Magnetkerne proportional sey*. Abgesehen davon, daß ich dieses Resultat mit den von mir direkt gemachten Beobachtungen nicht in Einklang fand, widersprach

demselben auch die Beobachtung, *dafs die Anziehung sich den Kerndurchmessern proportional zeigte*<sup>1)</sup>. Da nämlich feststeht, *dafs die Anziehung im quadratischen Verhältnifs zum freien Magnetismus steht*, so folgt daraus unmittelbar, *dafs der freie Magnetismus sich wie die Quadratwurzeln der Kerndurchmesser verhalten müsse*.

Diesen Satz hatte bereits früher Müller aufgestellt<sup>2)</sup>, allein er ging aus einer Formel hervor, deren Nothwendigkeit nicht direkt einleuchtet, deren Anwendbarkeit sich jedoch innerhalb der Gränzen bewährte, bis zu denen die Versuche ausgedehnt wurden.

Nachdem ich darauf Gelegenheit gehabt hatte, die Versuche mit Magnetkernen bis zu 6 Zoll Durchmesser auszu dehnen, welche alle das genannte Gesetz zeigten, habe ich die Versuche von Lenz und Jacobi, so wie die von v. Feilitzsch näher beleuchtet, und es ergab sich besonders bei den Versuchen von Lenz und Jacobi eine ganz vollkommene Uebereinstimmung des Magnetismus mit den Wurzeln der Kerndurchmesser<sup>3)</sup>. Es sind zwei Versuchsreihen, welche Lenz und Jacobi anführen. Die erste<sup>4)</sup> wurde mit einer Spirale erhalten, welche den Durchmesser des dicksten Kernes (3") hatte. In diese wurden sämtliche Kerne bis zu  $\frac{1}{6}$ " Durchmesser eingeführt. Die zweite Versuchsreihe erhielten Lenz und Jacobi mit denselben Kernen, aber so, *dafs diese jedesmal von der Spirale eng umschlossen waren*. Ich führe diese beiden Versuchsreihen, weil sie besonders wichtig sind, hier noch einmal an, lasse aber den mit dem  $\frac{1}{6}$ " dicken Kerne erhaltenen Versuch weg, weil nach Lenz und Jacobi in demselben Sättigung eingetreten war.

1) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 261 u. 442.

2) Pogg. Ann. Bd. 79, S. 241.

3) Dub, Elektromagnetismus S. 210 u. 212.

4) Pogg. Ann. Bd. 61, S. 257.



## I.

| Durchmesser      | Verhältniß<br>d. Durch-<br>messer<br>= $d$ | $\sqrt{d}$ | $m - S = M$ | $M - V$ | $\frac{M - V}{\sqrt{d}}$ |
|------------------|--|------------|-------------|---------|--------------------------|
| $\frac{1}{3}$ "  | 2  | 1,414      | 0,08731     | 0,08731 | 617                      |
| $\frac{1}{2}$ "  | 3  | 1,732      | 0,11166     | 0,10658 | 615                      |
| $\frac{2}{3}$ "  | 4  | 2          | 0,14152     | 0,12775 | 638                      |
| $\frac{5}{6}$ "  | 5  | 2,236      | 0,15831     | 0,14081 | 627                      |
| 1"               | 6  | 2,45       | 0,17489     | 0,15104 | 616                      |
| $1\frac{1}{2}$ " | 9  | 3          | 0,24569     | 0,19544 | 651                      |
| 2"               | 12   | 3,464      | 0,30796     | 0,22407 | 646                      |
| $2\frac{1}{2}$ " | 15   | 3,87       | 0,36743     | 0,24157 | 624                      |
| 3"               | 18   | 4,242      | 0,44731     | 0,26422 | 623                      |

## II.

| Durchmesser      | $d$ | $\sqrt{d}$ | $m$    | $\frac{m}{\sqrt{d}}$ |
|------------------|-----|------------|--------|----------------------|
| $\frac{1}{3}$ "  | 2   | 1,414      | 13,603 | 9596                 |
| $\frac{1}{2}$ "  | 3   | 1,732      | 16,735 | 9662                 |
| $\frac{2}{3}$ "  | 4   | 2          | 20,620 | 10310                |
| $\frac{5}{6}$ "  | 5   | 2,236      | 22,841 | 10214                |
| 1"               | 6   | 2,45       | 24,914 | 9492                 |
| $1\frac{1}{2}$ " | 9   | 3          | 31,803 | 10001                |
| 2"               | 12  | 3,464      | 40,946 | 11820                |
| $2\frac{1}{2}$ " | 15  | 3,87       | 49,127 | 12684                |
| 3"               | 18  | 4,242      | 55,558 | 13092                |

In diesen beiden Reihen giebt die letzte mit  $\sqrt{d}$  dividierte Colonne das Verhältniß des Magnetismus zur Quadratwurzel des Durchmessers. In der Versuchsreihe I sind in der  $m - S = M$  überschriebenen Spalte die Beobachtungen von Lenz und Jacobi nach Abzug der Wirkung, welche die galvanische Spirale ohne eingeführten Kern hat, aufgeführt; denn diese muß natürlich abgerechnet werden, wenn man ein Urtheil über den Einfluß des Eisenkernes erlangen will. Die folgende  $M - V$  überschriebene Spalte enthält nun die Werthe, welche nach dem Experiment von

Lenz und Jacobi selbst sich ergeben haben müßten, wenn die Spiralen den Kern eng umschlossen hätten. Nach dem genannten Experiment <sup>1)</sup> nimmt nämlich der Magnetismus eines Stabes, wenn er in verschiedenen weite Spiralen eingeführt wird, in dem Verhältniß ab, daß bei einer doppelt so weiten Spirale als die, welche den Kern eng umschließt, etwa  $\frac{1}{11}$  des Magnetismus weniger erregt wird als bei der den Kern eng umschließenden. Ich habe hiernach berechnet, welcher Magnetismus sich gezeigt haben müßte, wenn die Spiralen den Kern umschlossen hätten. Die durch diese Correction erhaltenen Werthe stehen unter  $M - V$  verzeichnet. Dividirt man diese Werthe durch die Wurzeln der Kerndurchmesser, so ergeben sich die Zahlen der letzten Colonne. Dieselben variiren, wie man sieht, so wenig, daß aus dieser ganz unzweifelhaft hervorgeht, daß der in den Stäben erregte Magnetismus den Wurzeln der Durchmesser der Eisenkerne proportional ist.

Auch die Versuchsreihe II giebt in der letzten Colonne ziemlich constante Werthe, allein die der drei stärksten Magnete weichen doch mehr ab, als daß man das Verhältniß constant nennen könnte. Da jedoch die Werthe bis zu dem Stabe von  $1\frac{1}{2}$  Durchmesser dieselben bleiben und außerdem hier die Wirkung der Spirale für sich nicht in Abzug gebracht ist, so muß man selbst nach dieser Reihe auf den obigen Satz schließen.

2. Mit diesem von mir aus den Resultaten gezogenen Schluß ist nun Wiedemann nicht einverstanden. Weil nämlich alle von mir in Bezug auf diesen Fall unternommenen Versuche mit Spiralen von derselben Weite ange stellt worden sind, in welchem Falle denn allerdings die stärkeren Kerne etwas zu große Werthe im Verhältniß zu den dünneren ergeben müssen, was doch gar nicht geleugnet werden kann, behauptet Wiedemann <sup>2)</sup>: »Jedenfalls hat weder das eine noch das andere der bisher ausgesprochenen Gesetze, wenigstens nach den bisher vorliegenden Ver-

1) Pogg. Ann. Bd. 47, S. 248.

2) Galv. u. Elektrom. II, S. 328.

suchen, eine ganz allgemeine Gültigkeit, da ja die Quotienten  $\frac{m}{\sqrt{d}}$  nicht ganz constant sind, sondern bei *allen* Versuchen mit Zunahme des Durchmessers der Stäbe wachsen. »

Man wird einsehen, daß Wiedemann von *allen* diesen Versuchen die eben aufgeführte Reihe I hätte ausnehmen müssen, denn in dieser sind doch die Quotienten constant. Da jedoch Wiedemann der Meinung ist<sup>1)</sup>, das Gesetz müsse complicirter seyn, so läßt er die eben genannte Reihe deshalb nicht gelten, weil ich, um sie herzustellen, die vorn erwähnte Correction angebracht habe, wonach bei doppelt so weiter Spirale durch die Seitenwirkung der Endwindungen  $\frac{1}{11}$  des Magnetismus verloren geht. Wiedemann sagt in Bezug hierauf<sup>2)</sup>: »Nach dieser *freilich etwas freien* Correction schwanken denn in der That die Quotienten  $\frac{m}{\sqrt{d}}$  nur im Verhältniß 617 — 651 — 623.«

Unter der Bezeichnung »*freilich etwas freien Correction*« kann doch Wiedemann hier nichts Anderes als *willkührliche, unbegründete* Correction verstehen. Nun sehe ich aber in der That nicht ein, welche Willkühr mir in diesem Falle vorzuwerfen ist, wenn ich das von Lenz und Jacobi auf experimentellem Wege festgestellte Verhältniß hier zur Anwendung bringe. Die Reihe, welche Lenz und Jacobi ausführen, ist folgende<sup>3)</sup>. Derselbe Kern wird in Spiralen von folgendem innern Durchmesser eingeführt, und es ergibt sich:

### III.

| Weite der Spirale | Magnetismus |
|-------------------|-------------|
| 2"                | 0,133       |
| 2",3              | 0,131       |
| 2",6              | 0,129       |
| 2",9              | 0,125       |
| 3",3              | 0,121       |
| 3",7              | 0,122       |

1) Galv. u. Elektrom. Bd. II, S. 328.

2) Galv. u. Elektrom. Bd. II, S. 325.

3) Pogg. Ann. Bd. 47, S. 248.

Hiernach nimmt der Magnetismus bei Erweiterung der Spirale von 2" bis 3",7 um  $\frac{1}{11}$ , d. h. um  $\frac{1}{11}$  ab. Muß nicht ein Jeder zugeben, daß bei der Erweiterung der Spirale bis auf den doppelten Durchmesser hiernach der Magnetismus um  $\frac{1}{11}$  sich verringern werde? Ich sehe in der That nicht, was bei dieser Annahme »freilich etwas frei« genannt werden kann.

Nehmen wir nämlich an, daß Lenz und Jacobi noch eine um 0",3 weitere, also eine 4" weite, Spirale angewandt hätten, so würde doch die Abnahme nach der vorstehenden Reihe *wenigstens* wieder 0,002 betragen haben, so daß also dann bei dieser Spirale sich als Magnetismus *höchstens* 0,121 ergeben haben könnte. Daß bei dem Werthe 0,121 der Magnetismus wieder steigt, beruht sicher auf Versuchsfehlern, denn bei den beiden vorhergehenden nimmt er dafür jedes Mal um 0,004 ab. Wäre nun der durch die 4" weite Spirale erregte Magnetismus 0,120, so betrüge dann der Verlust  $\frac{1}{13}$ , d. h. beinahe  $\frac{1}{10}$ , ich habe also noch etwas zu »ängstlich,« nicht aber »etwas frei« corrigirt, wenn ich nur  $\frac{1}{11}$  als Verlust in Rechnung stelle!

Um nun aber auch diese Correction noch näher zu begründen, habe ich Spiralen anfertigen lassen, deren Durchmesser von  $\frac{1}{2}$  bis 2 Zoll wachsen. In diese Spiralen, deren Durchmesser  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1",  $1\frac{1}{2}$ " und 2" beträgt, habe ich einen  $\frac{1}{4}$ " dicken Eisenkern von 1 Fuß Länge der Reihe nach eingeführt und dabei folgendes Resultat erhalten:

## IV.

| Weite der Spirale | Windungszahl = $W$ | $\alpha$ | $s$  | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $W$  |
|-------------------|--------------------|----------|------|--------------|---------|----------------------|------|
| $\frac{1}{2}$ "   | 319                | 27,5     | 0",6 | 0,5206       | 0,01047 | 0,51013              | 1567 |
| $\frac{3}{4}$ "   | 396                | 27,25    | 0",8 | 0,5150       | 0,01396 | 0,50104              | 1494 |
| 1"                | 332                | 26,5     | 1"   | 0,4986       | 0,01745 | 0,48115              | 1449 |
| $1\frac{1}{2}$ "  | 320                | 25,6     | 2"   | 0,4791       | 0,03492 | 0,44418              | 1388 |
| 2"                | 340                | 26,5     | 3",5 | 0,4986       | 0,06116 | 0,43744              | 1286 |

Diese Resultate sind in der Weise erhalten, daß ein  $\frac{1}{4}$ " starker 1 Fuß langer Eisenstab der Reihe nach in alle die

obigen Spiralen eingeführt ward, während dieselben von einem constanten Strome durchflossen wurden, der die Nadel meiner Temperaturbussole auf  $20^\circ$  ablenkte. Der Eisenkern lag in der Richtung senkrecht auf den magnetischen Meridian, und  $19\frac{1}{2}''$  entfernt in der Verlängerung seiner Axe befand sich an einem Coconfaden hängend eine  $1''$  lange Magnetnadel, die auf einem  $8''$  langen kupfernen Zeiger befestigt ist. Die angewandten Spiralen hatten nicht alle dieselbe Windungszahl, die zweite Spalte enthält die Anzahl dieser Windungen. In der dritten, mit  $\alpha$  überschriebenen, Spalte sind die an der Nadel beobachteten Winkel verzeichnet. Die mit  $s$  überschriebene Colonne enthält die durch die Spiralen ohne Kern bewirkten Ablenkungen. Beide unter  $\alpha$  und  $s$  verzeichneten Werthe sind die Mittel zweier Ablenkungen, welche dadurch erhalten wurden, daß der Strom in den Spiralen umgekehrt ward. Die beiden folgenden Spalten enthalten die Tangenten von  $\alpha$  und  $s$ , die vorletzte giebt die Differenz und die letzte endlich den Quotienten aus dieser Differenz durch die Anzahl der Windungen. Während also die vorletzte Spalte den freien Magnetismus des Eisenkernes giebt, enthält die letzte die Verhältniszahlen des freien Magnetismus dieses Kernes, wenn sämtliche Spiralen eine gleiche Windungszahl hätten.

Man sieht aus diesen Zahlen, daß mit der Zunahme des Durchmessers der Spiralen der Magnetismus desselben Kernes abnimmt. Das Verhältniß dieser Abnahme ist etwa dasselbe, wie es sich aus den Versuchen von Lenz und Jacobi ergibt.

3. Nach den vorn aufgeführten Untersuchungen von Lenz und Jacobi, v. Feilitzsch und Müller habe ich selbst Versuche über diesen Gegenstand angestellt und dabei nicht allein die soeben genannte Methode befolgt, sondern ich habe nach Hankel's Vorgange<sup>1)</sup>, auch die Kraft gemessen, mit der verschieden starke Eisenkerne in eine Spirale hineingezogen werden. Diese Kraft ist ebenfalls

1) Bericht über die Verhandlungen der K. S. Gesellsch. d. Wissensch. 1850. II.

dem im Eisenkerne vorhandenen Magnetismus proportional<sup>1)</sup>).

Die damals erhaltenen Versuchsergebnisse zeigen alle mehr oder weniger die Abweichungen, welche dadurch herbeigeführt wurden, daß die Kerne von den angewandten Spiralen nicht eng umschlossen wurden. Mir standen nämlich zu jener Zeit nur zwei Spiralen zu Gebot, deren eine 1" die andere 2" innere Weite hatten. Nachdem ich daher Kerne von  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", 1",  $1\frac{1}{2}$ " und 2" Durchmesser in die zwei Zoll weite Spirale eingeführt hatte, mit denen ich dann Resultate erhielt, die in der oben genannten Weise von einander abwichen, glaubte ich den fraglichen Satz befriedigend dargethan zu haben, wenn ich zeigte, daß die 1" und 2" dicken Kerne, von den ebenso weiten Spiralen umschlossen, Resultate gäben, welche das Wurzelverhältniß der Magnetismen zu den Kerndurchmessern darthäten.

Dieser Versuch findet sich verzeichnet in Pogg. Ann. Bd. 90, S. 254, er ergibt die Verhältniszahlen.

| V.  |                      |
|-----|----------------------|
| $d$ | $\frac{1}{\sqrt{d}}$ |
| 1"  | 473                  |
| 2"  | 478                  |

Diesen Versuchen habe ich später noch andere hinzugefügt, die ich mit Kernen von 1" bis 6" Durchmesser bei einer Länge derselben von 3 Fufs anstellte<sup>2)</sup>; alle wurden jedoch in eine 6" weite Spirale eingeführt. Obgleich sich auch hier nur Abweichungen zeigten, welche durch die zu weite Spirale hervorgerufen wurden, so hat mich doch die Darstellung Wiedemann's belehrt, daß alle diese Versuche, verbunden mit den aus den Versuchen von Lenz und Jacobi abgeleiteten Werthen, die Physiker nicht von der Gültigkeit des von mir behaupteten und schon vorher von Müller ausgesprochenen Satzes überzeugt haben.

1) Pogg. Ann. Bd. 90, S. 257.

2) Pogg. Ann. Bd. 94, S. 580.

4. Nachdem nämlich Wiedemann die von Lenz und Jacobi, von Müller, von v. Feilitzsch und von mir erhaltenen Resultate zusammengestellt hat, sagt er: 1)

„Hiernach wäre der Werth  $M$  weder der Quadratwurzel noch der ersten Potenz des Umfanges oder der Dicke proportional, vielmehr läge das richtige Verhältniß in der Mitte zwischen beiden.“

„Jedenfalls hat weder das eine noch das andere der beiden ausgesprochenen Gesetze, wenigstens nach den bisher vorliegenden Versuchen, eine ganz allgemeine Gültigkeit, da ja auch die Quotienten  $\frac{M}{\sqrt{d}}$  nicht ganz constant sind, sondern bei allen Versuchen (?) mit Zunahme des Durchmessers  $d$  der Stäbe wachsen. Auch ist bei den Versuchen die elektromagnetische Scheidungskraft nicht dieselbe auf der ganzen Länge der Stäbe. Namentlich wirkt sie aber in sehr ungleichem Verhältnisse auf die verschiedenen Punkte ihres Querschnitts, da die dickeren Stäbe den inneren Raum der magnetisirenden Spirale völlig, die dünneren nur zum Theil ausfüllen. Dieser Umstand würde auch noch hervortreten, selbst wenn die Spiralen die verschieden dicken Kerne dicht umschließen. Auch wäre schon nach den Betrachtungen der §. 226 und folgende, selbst wenn die magnetisirende Kraft auf alle Theile gleichmäfsig wirkte, kein so einfaches Gesetz zu erwarten.“

Wir müssen diesen Satz, der das, was bisher auf diesem Felde gethan ist, summarisch darstellen soll, in seinen einzelnen Punkten betrachten. Derselbe blickt einerseits zurück auf die von Wiedemann zuvor gegebenen experimentellen Untersuchungen, andererseits nimmt er Bezug auf die früher schon gegebenen mathematischen Entwicklungen.

A) Was das Urtheil über die experimentellen Untersuchungen betrifft, so ist dabei zu bemerken, dafs Wiedemann einerseits die von mir mit den Versuchen von Lenz und Jacobi angestellten Correctionen, welche die vorn aufgeführte Reihe I giebt, für unbegründet hält, dafs er ferner die in der Reihe V gegebenen beiden Versuchs-

1) Galv. und Elektrom. II, S. 328.



resultate übersehen hat, und dafs er endlich das in Bezug auf die Untersuchungen von v. Feilitzsch<sup>1)</sup> Bemerkte nicht für beachtenswerth hält, worin ich darauf hinweise, dafs auch bei diesen Untersuchungen für alle verschiedenen Kerne eine einsige Spirale von einer Weite angewandt wird, welche dem Durchmesser des dicksten Magneten entspricht.

Ich denke nach der Versuchsreihe IV wird Niemand mehr Zweifel hegen, dafs dieser Einflufs der Endwindungen nicht zu vernachlässigen ist.

B) Was nun den zweiten Punkt der Bedenken Wiedemann's gegen das Wurzelverhältnifs der Kerndurchmesser zu ihrem freien Magnetismus betrifft, so fliefst dasselbe aus den von berühmten Mathematikern gegebenen Entwicklungen über die in speciellen Fällen stattfindende Vertheilung des Magnetismus. Die speciellen Fälle, welche Wiedemann aufführt<sup>2)</sup>, sind folgende:

a) Die Vertheilung des Magnetismus in einer Halbkugel, wenn auf alle ihre Theile eine gleich starke Kraft und in gleicher Richtung, wie z. B. der Elektromagnetismus wirkt, berechnet von Poisson<sup>3)</sup>,

b) Die Magnetisirung eines Ellipsoïds, wenn die magnetisirenden Kräfte auf alle Punkte desselben gleichmäfsig und in gleicher Richtung, also von einem unendlich entfernten Punkte Z aus wirken, berechnet von Poisson, Beer<sup>4)</sup> und Plücker<sup>5)</sup>.

c) Bestimmung der magnetischen Momente eines Rotationsellipsoïds durch eine constante, in der Richtung seiner Rotationsaxe wirkende magnetisirende Kraft, z. B. durch den Erdmagnetismus oder durch eine weite und lange Spirale, in deren Mitte das Ellipsoïd eingelegt wird, berechnet von Neumann<sup>6)</sup>.

1) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 244.

2) Galv. u. Elektrom. II, S. 256.

3) Memoires de l'Academie. T. V, p. 218 et 488. Dec. 1824.

4) Pogg. Ann. Bd. 94, S. 192.

5) Phil. Trans. 1858, T. II.

6) Crelle's Journ. Bd. XXXVII, S. 44.

Poggendorff's Annal. Bd. CXV.

Man wird finden, daß alle diese Untersuchungen, die eine Bedingung mit einander gemein haben, daß auf alle Theile des eisernen Körpers eine gleiche magnetisirende Kraft wirkt. Wenn nun Wiedemann in dem vorn angezogenen Auslaß sagt, daß in den untersuchten Fällen hinsichts der Stäbe von verschiedenem Durchmesser die magnetisirende Kraft nicht dieselbe ist, weder in der ganzen Länge noch in den verschiedenen Punkten des Querschnitts, was allerdings sehr richtig ist; so sehe ich nicht ein, wie er aus den obigen Untersuchungen auf den hier in Frage stehenden Fall irgend welchen Schluß ziehen will. Daß das in der That unmöglich ist, geht aus einem von Neumann bei der unter c genannten Untersuchung gefundenen Satz klar und deutlich hervor. Neumann findet nämlich <sup>1)</sup>:

»Für ein sehr gestrecktes Ellipsoid, als welches man annähernd einen längeren magnetischen Stab von gleicher Länge und gleichem Volum betrachten kann, wird mit Aenderung der Länge bei gleichbleibendem Querschnitt das Moment der Länge proportional wachsen, und bei gleicher Länge ebenso proportional dem Querschnitt, d. i. dem Quadrate des Radius zunehmen.«

Nun liegt es doch klar auf der Hand, daß Niemand nach allen den vorhandenen Versuchen behaupten kann, daß der freie Magnetismus den Radien oder Durchmessern selbst, viel weniger den Quadraten derselben proportional ist. Es liegt deutlich auf der Hand, daß man also von diesen Untersuchungen nicht im Entferntesten auf die hier in Frage stehenden Fälle schließeln kann. Es steht aber ferner auch fest, daß die Mathematik aus den gleich Anfangs angegebenen Gründen die hier experimentell untersuchten Fälle nicht analytisch zu entwickeln im Stande ist, woraus dann folgt, daß man aus den bisher bekannten Sätzen der Mathematik über den Magnetismus zu schließeln beruhigt ist, ob ein auf experimentellem Wege gefundenes Resultat in der That so seyn könne oder nicht.

Nachdem in dieser Weise gezeigt ist, daß aus den bis

1) Wiedemann, Galv. u. Elektrom. II, S. 263.

jetzt vorhandenen mathematischen Entwicklungen weder auf eine complicirtere Formel noch auf irgend etwas Anderes in Bezug auf den Einfluß des Kerndurchmessers auf seinen Magnetismus geschlossen werden kann, will ich ferner die Zuverlässigkeit der experimentellen Resultate dadurch zu vergrößern suchen, daß ich neue Versuche mittheile, welche in geeigneterer Weise als bisher angestellt, durchaus den schon früher behaupteten Satz bestätigen.

5. Wie bereits vorn bemerkt, habe ich behufs der Untersuchung verschiedener Stäbe, welche von der Spirale eng umschlossen werden, Spiralen von  $\frac{1}{8}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", 1",  $1\frac{1}{2}$ " und 2" innerer Weite anfertigen lassen, in diese Spiralen wurden Stäbe von den folgenden in der Tabelle unter  $d$  aufgeführten Durchmessern und einen Fuß Länge eingeführt. Die Kerne lagen senkrecht gegen den magnetischen Meridian und in  $19\frac{1}{2}$  Zoll Entfernung von einer an einem Confaden aufgehängten Magnetenadel von 1" Länge, welche auf einem  $7\frac{1}{2}$ " langen Zeiger befestigt war, dessen Spitze sich über einem getheilten Kreise bewegte. Durch die Spiralen bewegte sich ein Strom, der die Nadel meiner Tangentenbussole auf  $30^\circ$  ablenkte und der bei Einschaltung einer neuen Spirale stets möglichst genau regulirt ward. In dieser Weise erhielt ich als Ablenkung der Magnetenadel durch den jedesmal eingeführten Magneten die unter  $\alpha$  verzeichneten Werthe, wogegen die Spiralen allein die Nadel um die unter  $s$  gegebenen Winkel ablenkte. Die Werthe unter  $\text{tg } \alpha - \text{tg } s$ , dividirt durch die Anzahl der einzelnen Spiralwindungen, giebt dann das Verhältniß der Magnetismen, welche durch eine Spiralwindung in den Kernen von verschiedenem Durchmesser hervorgerufen wurden, dieselben sind in der Colonne  $\frac{\Sigma m}{w} = m$  verzeichnet. Das Comma ist weggelassen.

## VI.

| $d$              | $\alpha$ | $s$  | $W$ | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $\frac{\Sigma m}{W} = m$ | $\sqrt{d}$ | $\frac{m}{\sqrt{d}}$ |
|------------------|----------|------|-----|--------------|---------|----------------------|--------------------------|------------|----------------------|
| $\frac{3}{8}''$  | 21°,88   | 0°,6 | 319 | 0,4017       | 0,01047 | 0,39133              | 1258                     | 1,73       | 727                  |
| $\frac{4}{8}''$  | 25°      | 0°,6 | 319 | 0,4663       | 0,01047 | 0,45583              | 1429                     | 2          | 714                  |
| $\frac{5}{8}''$  | 28°,88   | 0°,8 | 336 | 0,5516       | 0,01396 | 0,53764              | 1600                     | 2,236      | 715                  |
| $\frac{6}{8}''$  | 31°      | 0°,8 | 336 | 0,6008       | 0,01396 | 0,58684              | 1746                     | 2,449      | 713                  |
| $\frac{8}{8}''$  | 34°,5    | 1°   | 332 | 0,6873       | 0,01745 | 0,66985              | 2018                     | 2,828      | 714                  |
| $\frac{12}{8}''$ | 40°      | 2°   | 320 | 0,8391       | 0,03496 | 0,80418              | 2513                     | 3,464      | 725                  |
| $\frac{14}{8}''$ | 44°      | 3°,5 | 340 | 0,9657       | 0,06116 | 0,90454              | 2660                     | 3,741      | 711                  |
| $\frac{15}{8}''$ | 46°,5    | 3°,5 | 340 | 1,053        | 0,06116 | 0,99184              | 2914                     | 4          | 728                  |

In der letzten Colonne ist der Magnetismus der einzelnen Kerne durch die Wurzeln der Kerndurchmesser dividirt. Diese Quotienten sind so nahe zugleich, dafs nach denselben durchaus nicht daran gezweifelt werden kann,

*„dafs der freie Magnetismus von Kernen von verschiedenem Durchmesser und gleicher Länge, die ganz mit der galvanischen Spirale bedeckt sind, den Quadratwurzeln der Kerndurchmesser proportional ist.“*

## II. Die Gränzen des Gesetzes.

Man nennt die Naturwissenschaften mit Recht die empirischen Wissenschaften und ihre doch nicht geringen Fortschritte in der neusten Zeit gründen sich ganz unzweifelhaft auf das Experiment. Ist dasselbe in umsichtiger Weise angestellt, so ist man der Erfahrung gemäß berechtigt, daraus allgemein gültige Schlüsse zu ziehen. Will man die Berechtigung dieser Schlüsse prüfen oder fester begründen, so geschieht dies entweder durch umfangreichere experimentelle Untersuchungen, oder durch analytische für den gerade fraglichen Fall angestellte Einwirkungen; aber man kann nicht aus den für das ganze Feld aufgestellten all-

gemeinen Gesichtspunkten direkt Schlüsse für einen engeren Kreis ziehen, man ist nicht im Stande vorherzusagen, welche Form ein bestimmtes Gesetz annehmen werde, bevor nicht die Rechnung dafür angestellt ist.

Wiedemann sagt bei der Besprechung der Magnetisirung auf die Weise, wie dies durch eine Spirale nach Art der Gaugin'schen Temperaturbussole geschehen würde<sup>1)</sup>, man könnte, wenn zwei solcher Drahtkreise einander parallel gegenüber gestellt würden, die magnetisirende Kraft auf alle Theile des dazwischen gelegten Körpers in gleicher Intensität und Richtung wirken lassen, und fährt dann später fort<sup>2)</sup>: »Wo man aber den Einfluss der Gestalt der Körper auf ihre Magnetisirung untersuchen wollte, ohne obigen Bedingungen Genüge zu leisten, konnten selbst die zahlreichsten und sorgfältigsten Beobachtungen durchaus nicht zu allgemeinen Gesetzen führen.« Hiernach müsste man doch folgern, dass man nun allgemeine Gesetze über die Form der Magnete erhalten würde, wenn man in der oben bezeichneten Weise verführe. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Man würde dann das bereits vorn erwähnte, von Neumann berechnete, Resultat für ein Ellipsoid und für einen Cylinder vielleicht noch ein anderes erhalten, und wüsste alsdann über die stets zur Anwendung kommende Form der Elektromagnete, bei denen die oben gestellte Bedingung *nicht* gilt, gerade ebenso wenig als zuvor.

Um über den Einfluss elektromagnetischer Cylinder Aufschluss zu erhalten, die auf ihrer ganzen Länge mit der galvanischen Spirale umschlossen sind, muss man die Wirkung solcher Cylinder entweder berechnen, bei denen nämlich die magnetisirende Kraft nicht auf alle Theile gleich wirkt, oder — da man das nicht kann — diese Wirkung experimentell prüfen. Der hierbei in Frage stehende Fall ist nicht im mindesten beschränkter als der von Neumann berechnete, aber — es ist ein anderer. Da nun Wiedemann an mehreren Stellen über die von mir in Bezug auf diesen Fall

1) Pogg. Ann. Bd. 88, S. 443; Dub. Elektrom. S. 23.

2) Galv. u. Elektrom. Bd. II, S. 275.

aufgestellten Sätze sagt, daß sie nur innerhalb enger Grenzen Geltung hätten, so habe ich bei dem vorliegenden Gesetz über die Wirkung der Kerndurchmesser es mir angelegen seyn lassen, die Grenzen dieses Gesetzes festzustellen.

Wenn ich nun gezeigt habe, daß der Magnetismus verschieden dicker Kerne, die ihrer ganzen Länge nach mit der Spirale bedeckt sind, bei allen Längen zwischen  $\frac{1}{2}$ " bis 36" und einer Dicke von  $\frac{5}{8}$ " bis 6" nach dem genannten Gesetz zunimmt, so wird Wiedemann wohl zugeben, daß das Gesetz auch bei einem doppelt so langen und doppelt so dicken Kerne noch Geltung habe. Giebt man aber dieß zu, so kann man ein solches Gesetz nicht mehr eine Annäherung an irgend welches andere Gesetz nennen.

Wenngleich die angewandten Dimensionen nach dieser Richtung hin irgend einen Physiker vielleicht noch nicht genügen könnten, so hielt ich doch dafür, daß dieselben genügende Beweiskraft für die Allgemeinheit des Gesetzes hätten. Anders verhielt es sich mit den möglichst auf ein Minimum beschränkten Dimensionen. Was den Durchmesser betrifft, so ist der Verkleinerung desselben durch die magnetische Sättigung eine Gränze gesetzt, hinsichts der Länge aber schien mir doch eine Prüfung mit möglichst kurzen Kernen wünschenswerth. Ich wandte daher solche von 2" Länge und  $\frac{8}{16}$ ",  $\frac{11}{16}$ ",  $\frac{16}{16}$ " und  $\frac{22}{16}$ " Durchmesser an, die mir gerade zur Hand waren. Ich erhielt folgende Reihe:

## VII.

Kernlänge 2"; Stromstärke 20°.

| $d$               | $\alpha$ | $s$   | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $\sqrt{d}$ | $\frac{\lg \alpha - \lg s}{\sqrt{d}}$ |
|-------------------|----------|-------|--------------|---------|----------------------|------------|---------------------------------------|
| $\frac{8}{16}$ "  | 6°,75    | 1°    | 0,1184       | 0,01745 | 0,10095              | 2,828      | 3569                                  |
| $\frac{11}{16}$ " | 8°       | 1°,5  | 0,1406       | 0,02618 | 0,11437              | 3,316      | 3449                                  |
| $\frac{16}{16}$ " | 10°,5    | 2°,5  | 0,1853       | 0,04366 | 0,14164              | 4          | 3541                                  |
| $\frac{22}{16}$ " | 14°      | 4°,75 | 0,2493       | 0,08309 | 0,16621              | 4,691      | 3543                                  |

Die Ueberschriften der einzelnen Colonnen haben dieselbe Bedeutung wie die entsprechenden in der Tabelle VI. Die Division der erhaltenen Werthe ( $\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \beta$ ) durch die Zahl der angewandten Spiralwindungen ist weggefallen, weil die Spiralen alle gleiche Windungszahl hatten.

Diese Tabelle zeigt in ihrer letzten Spalte, daß auch sehr kurze Magnete das Gesetz in Bezug auf den Einfluss der Kerndurchmesser nicht beeinträchtigen, daß also auch nach dieser Seite hin von einer beschränkten Gränze keine Rede seyn kann.

Außer der Variation der Kerndimensionen waren nun die der angewandten Spirale zu prüfen. Es war die Frage, ob das Gesetz hinsichts der Wirkung der Kerndurchmesser auch dasselbe bliebe, wenn die magnetisirende Spirale *kürzer* oder *länger* als der angewandte Magnetkern wäre. Ich habe auch diese beiden Fälle geprüft.

#### 1. Die Spirale bedeckt den Kern nur theilweise.

Ich habe früher gezeigt, daß der Magnetismus in einem Anker dem Magnetismus im Kerne proportional wächst, wenn der Anker mit dem Kerne gleichen Durchmesser behält. Läßt man nun die Spirale den Kern nicht ganz bedecken, so kann das aus derselben hervorstehende Stück als Anker angesehen werden und muß also die Summe des in beiden Theilen entwickelten Magnetismus proportional dem unter der Spirale befindlichen Theile wachsen. Ist dieser Schluss richtig, so ist dies ein Beweis, daß der oben genannte Satz auch nicht nur innerhalb der Gränzen gilt, innerhalb welcher die Versuche angestellt sind.

Um dies zu prüfen führte ich die 12" langen Kerne in Spiralen ein, welche den Kern eng umschlossen, deren Länge aber nur  $5\frac{1}{2}$ " betrug, und schob diese Spiralen jedesmal so auf den Kern, daß sie von dem der Nadel zugewandten Ende  $2\frac{3}{4}$ " entfernt waren, das entgegengesetzte Ende also dann noch  $3\frac{3}{4}$ " aus ihnen hervor stand. Ich hatte zu dieser Länge und der gewählten Lage der Spirale keinen besondern Grund, sondern ich machte sie absichtlich ganz be-



liebig, weil alsdann bei der Uebereinstimmung dieses Falles mit dem Gesetz auch alle anderen Fälle als jenem gleich erwartet werden müssen. So erhielt ich folgende Nadelablenkungen, bei einer Stromstärke, welche an der Tangentenbussole  $20^\circ$  zeigte.

## VIII.

| $d$               | $\alpha$      | $W$ | $s$          | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $\frac{\Sigma m}{W} = m$ | $\sqrt{d}$ | $\frac{m}{\sqrt{d}}$ |
|-------------------|---------------|-----|--------------|--------------|---------|----------------------|--------------------------|------------|----------------------|
| $\frac{4}{8}''$   | $15^\circ,25$ | 154 | $0^\circ,25$ | 0,2540       | 0,00436 | 0,24964              | 1621                     | 2          | 8105                 |
| $\frac{6}{8}''$   | $19^\circ,5$  | 174 | $0^\circ,4$  | 0,3541       | 0,00698 | 0,34712              | 1995                     | 2,449      | 8146                 |
| $\frac{8}{8}''$   | $21^\circ,5$  | 168 | $0^\circ,75$ | 0,3939       | 0,01309 | 0,38081              | 2267                     | 2,828      | 8016                 |
| $\frac{1,2}{8}''$ | $25^\circ,5$  | 164 | $1^\circ$    | 0,4770       | 0,01745 | 0,45955              | 2801                     | 3,464      | 8054                 |
| $\frac{1,6}{8}''$ | $30^\circ$    | 170 | $1^\circ,5$  | 0,5773       | 0,02618 | 0,55112              | 3242                     | 4          | 8105                 |

Die Ueberschriften der einzelnen Spalten haben dieselbe Bedeutung wie die entsprechenden in der Tabelle VI.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß auch in diesem Falle der freie Magnetismus den Quadratwurzeln der Kerndurchmesser proportional ist.

## 2. Der Kern füllt nicht die ganze Länge der Spirale.

Dadurch, daß der Kern sich in der Mitte einer Spirale befindet, welche zu beiden Seiten weit über ihn hinausragt, wird die Vertheilung in den neben einander befindlichen Querschnitten des Kernes eine andere, als wenn der Kern bis zu beiden Enden der Spirale reicht. Die magnetische Scheidungskraft wirkt auf jeden Querschnitt gleich, wenn die Länge des Kernes gegen die Länge der Spirale verschwindend klein ist. Hieraus folgt aber noch nicht, daß deshalb der dadurch in höherem Maasse erregte Magnetismus und der freie Magnetismus nicht in demselben Verhältniß zunehmen wie bei der bisher betrachteten Bewicklung.

Um nun zu beobachten, welches Resultat hinsichts der Wirkung verschiedener Kerndurchmesser sich in dem Falle

zeigen würde, wenn die Spirale bedeutend länger ist als der durch sie magnetisirte Kern, stellte ich zwei Versuchsreihen her, die eine, bei der die Spirale dieselbe blieb und eine zweite, bei der die Spirale jeden angewandten Kern eng umschloß. In dem ersten Falle wurden 6" lange Kerne und eine Spirale von 18" Länge, 2" innerer Weite und 554 Windungen angewandt. Die Kerne lagen in der Mitte der Spirale, deren nächstes Ende  $9\frac{1}{2}$  Zoll von der in der Verlängerung ihrer Axe befindlichen Bussolennadel entfernt war. Zu beiden Seiten standen die Windungen um eine der Länge des Kernes gleiche Länge, nämlich 6", über den Kern hinaus, derselbe nahm also  $\frac{1}{3}$  der ganzen Spirallänge ein und sein nächstes Ende war mithin  $15\frac{1}{2}$ " von der Mitte der Bussolennadel entfernt. Unter diesen Umständen erhielt ich mit Kernen von  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1",  $1\frac{1}{2}$ " und 2" Durchmesser bei einer Stromstärke von  $15^\circ$  Ablenkung an meiner Tangentenbussole, folgende Werthe:

## IX.

Spirale 18" lang, 2" weit; Kerne 6" lang; Strom  $15^\circ$ .

| $d$              | $\alpha$     | $s$        | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $\frac{m}{d}$ |
|------------------|--------------|------------|--------------|---------|----------------------|---------------|
| $\frac{1}{2}$ "  | $19^\circ,5$ | $11^\circ$ | 0,3541       | 0,1944  | 0,1574               | 787           |
| $\frac{3}{4}$ "  | $22^\circ,5$ |            | 0,4142       |         | 0,2198               | 733           |
| $1$ "            | $24^\circ$   |            | 0,4452       |         | 0,2508               | 627           |
| $1\frac{1}{2}$ " | $29^\circ,5$ |            | 0,5658       |         | 0,3714               | 619           |
| $2$ "            | $33^\circ,2$ |            | 0,6544       |         | 0,4600               | 575           |

Aus der mit  $\lg \alpha - \lg s$  überschriebenen Colonne, welche den Magnetismus der einzelnen Kerne angiebt, ersieht man sogleich, daß hier *nicht* das Verhältniß der Wurzeln der Durchmesser gilt, der Magnetismus liegt dem Verhältniß der Durchmesser selbst näher. Ich habe daher hier in der letzten Colonne mit den Durchmessern selbst dividirt. Die erhaltenen Quotienten nehmen ab. Der Magne-

tismus ist also nicht den Durchmessern gerade proportional, sondern wächst doch noch in geringerem Verhältniß.

Wir haben vorn gesehen, daß ähnliche Erscheinungen hervorgerufen wurden, wenn die Spirale die Länge der Kerne hatte. Es fragte sich, ob hier, unter doch von jenen ganz verschiedenen Umständen, derselbe Grund vorhanden sey. Darüber mußte ein Versuch entscheiden, bei welchem die angewandten Spiralen die Kerne jedesmal eng umschlossen. Dieser Versuch ergab folgendes Resultat:

## X.

Spiralen 18" lang, Kerne 6" lang, Strom 15°.

| $d$             | $\alpha$ | $s$   | $W$ | $\lg \alpha$ | $\lg s$ | $\lg \alpha - \lg s$ | $\frac{\Sigma m}{W} = m$ | $\frac{m}{d}$ |
|-----------------|----------|-------|-----|--------------|---------|----------------------|--------------------------|---------------|
| $\frac{1}{4}$ " | 13°,7    | 4°,5  | 562 | 0,2438       | 0,0787  | 0,1651               | 2937                     | 1468          |
| $\frac{3}{4}$ " | 16°,3    | 4°,5  | 562 | 0,2924       | 0,0787  | 0,2137               | 3802                     | 1237          |
| $\frac{1}{2}$ " | 18°      | 5°,   | 557 | 0,3249       | 0,0875  | 0,2374               | 4262                     | 1065          |
| $\frac{1}{4}$ " | 28°,8    | 12°,5 | 547 | 0,5498       | 0,2217  | 0,3281               | 6000                     | 1000          |
| $\frac{3}{4}$ " | 33°,25   | 11°   | 554 | 0,6556       | 0,1944  | 0,4612               | 8325                     | 1040          |

Ein Vergleich dieser beiden Reihen IX und X zeigt, daß hier die Weite der Spiralen keinen namhaften Einfluß übt. Das Verhältniß des freien Magnetismus ist in beiden Fällen dasselbe. Die beiden Versuchsreihen lehren ferner, daß hier die Gränze des vorn aufgestellten Gesetzes ist, und dasselbe muß demnach in folgender Form ausgesprochen werden:

„Der freie Magnetismus gleich langer Magnetkerne ist der Quadratwurzel des Durchmessers derselben genau proportional, wenn die Spiralwindungen den Kern auf seiner ganzen Länge oder nur theilweise bedecken und ihn eng umschließen.“

„Der freie Magnetismus gleich langer Magnetkerne wächst in größerem Verhältniß als die Wurzeln ihrer Durchmesser,

wenn die sie magnetisirenden Spiralen unter sonst gleichen Umständen länger sind als die Kerne.»

### III. Einfluss der Länge auf den Magnetismus der Elektromagnete.

1. Meine Untersuchungen über die Länge der Elektromagnete führten mich zu mehreren Sätzen in Bezug auf den Einfluss dieser Länge, von denen die wichtigsten die sind:

- 1) Der freie und der erregte Magnetismus sind den Quadratwurzeln der Stablängen proportional, wenn diese auf ihrer ganzen Länge mit derselben Windungszahl bedeckt und von demselben Strome umflossen sind.
- 2) Der in jedem Querschnitte eines auf seiner ganzen Länge mit der galvanischen Spirale bedeckten Magnetkernes erregte Magnetismus ist der Quadratwurzel aus der Entfernung dieses Querschnitts vom nächsten Ende des Magneten proportional<sup>1)</sup>.
- 3) Der freie Magnetismus sowohl eines Stahl- als Elektromagneten in jedem Querschnitt auf der Länge desselben ist der Differenz zwischen der Quadratwurzel aus der halben Länge und der Quadratwurzel aus dem Stück vom Querschnitt bis zum nächsten Ende proportional.<sup>2)</sup>

Auf diese Resultate wurde ich durch die einfache Reflexion geführt, dass die Anziehung (nicht die Tragkraft!) stets dem Quadrat des erregten Magnetismus proportional ist. Die in dieser Beziehung erhaltenen Resultate der Anziehung<sup>3)</sup> bedingten nothwendig die eben genannten Sätze 1 und 2 und ich stellte nun in Bezug darauf theils systematische Untersuchungen an, theils verglich ich die Untersuchungen von Lenz und Jacobi mit diesen Sätzen und fand sie in einem Maasse bestätigt, wie es überhaupt unter den obwaltenden Umständen nur zu erwarten war.

Wiedemann, der von dem allerdings richtigen Grund-

1) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 265.

2) Pogg. Ann. Bd. 106, S. 93.

3) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 210 u. f.

sätze ausgeht, daß die Zuverlässigkeit eines Gesetzes durch einen theoretischen Nachweis erst ganz unzweifelhaft wird, zieht nun diese von mir aufgestellten Sätze in Zweifel und nennt sie durch »Probiren« gefunden<sup>1)</sup>, weil sie mit einer von Green auf theoretischen Wege gefundenen aber für ganz andere Fälle aufgestellten Formel nicht im Einklange stehen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß ein auf empirischem Wege gefundenes Gesetz noch größere Zuverlässigkeit erhält, wenn es durch eine theoretische Entwicklung bestätigt wird, und daß andererseits eine Differenz der Resultate eine wiederholte Prüfung beider verlangt, sowohl der Rechnung wie des Experiments, oder wie Wiedemann sagen würde, des durch Probiren gefundenen Ausdrucks. Beides habe ich bereits früher gethan<sup>2)</sup> und bin damals zu dem Resultat gekommen, daß die Kettenlinie nicht als Form für die Vertheilung des in einem Stabe erregten, noch weniger aber seines freien Magnetismus gelten kann. Wiedemann geht auf diese Bemerkungen nicht ein, sondern führt alle bei meinen Untersuchungen erklärten Abweichungen von dem von mir ausgesprochenen Gesetz als gegen dasselbe sprechend an.

Ich kann dies nur als eine zu große Vorliebe für theoretische Ausdrücke erklären, welche denn auch diesen Physiker veranlaßt hat ganz nahe liegende Beobachtungen unberücksichtigt zu lassen. Davon hier nur das eine Beispiel.

Wiedemann berechnet aus dem Momente in der Mitte des Stabes und den Gesamtmomenten desselben<sup>3)</sup> den Abstand der Pole der Stäbe von einander, und findet folgende Reihe:

|                |     |      |      |      |      |      |       |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| Länge d. Stäbe | 12" | 18"  | 24"  | 30"  | 36"  | 42"  | 48"   |
| Abst. d. Pole  | 8,9 | 13,6 | 17,6 | 21,7 | 25,9 | 29,9 | 33,1. |

Hiernach wäre also der Polabstand von den Enden der Stäbe:

1) Galv. u. Elektr. II, S. 344.

2) Pogg. Ann. Bd. 106, S. 83 u. f.

3) Galv. v. Elektrom. II, S. 342.

## XI.

| Stablänge.      | Polabstand |                 |
|-----------------|------------|-----------------|
|                 | berechnet. | beobachtet.     |
| 4'              | 7",45      | 2"              |
| 2'              | 3",2       | 1"              |
| 1'              | 1",65      | $\frac{1}{2}$ " |
| $\frac{1}{2}$ ' | —          | $\frac{1}{4}$ " |

Wenn man sich öfter mit Aufsuchung des Poles beschäftigt hat, so weiß man, daß bei einem 4 Fufs langen Stabe der Pol nicht 7,5 Zoll vom Ende liegt. Um jedoch einige Data anzuführen, habe ich in der Tabelle XI neben den von Wiedemann berechneten Polabständen diese Abstände verzeichnet, wie ich sie mit der Magnetnadel gefunden habe. Das Experiment wurde einfach so angestellt, daß der 1" dicke Elektromagnet möglichst genau senkrecht auf den magnetischen Meridian und unter denselben ein sogenanntes Linienblatt gelegt ward, dessen Linien die Axe des Magneten senkrecht schnitten und also die Richtung des magnetischen Meridians angaben. Darauf wurde eine Magnetnadel neben dem Magneten hergeführt und beobachtet, wenn dieselbe in der Richtung des Meridians stand, d. h. wenn sie in der Richtung der Linien lag. Ein dicht neben dem Magneten gelegter Zollstock gab dann die Zolle des Polabstandes vom Ende.

Ich muß hierbei bemerken, daß für diese hier verzeichneten Werthe keine absolute Genauigkeit in Anspruch genommen werden kann, aber ich kann wohl verbürgen, daß der Beobachtungsfehler an dem 4 Fufs langen Magneten nicht einen Achtelzoll beträgt. Je kürzer der Magnet ist, desto sicherer läßt sich auf diese Weise die Lage des Pols bestimmen. Hier differirt nun das Resultat der Rechnung mit dem des Experiments sehr bedeutend, und doch wird wohl Niemand behaupten, die von Wiedemann berechneten Werthe seyen richtig, die Beobachtung aber in so großem Maasse fehlerhaft. Ich habe, wie bereits vorn bemerkt, diesen Fall nur angeführt, um zu zeigen, daß man auch bei Anwendung der einfachsten Grundgesetze der

magnetischen Anziehung und Abstofsung zu unrichtigen Resultaten gelangen kann, und zwar habe ich gerade diesen Fall gewählt, weil sich hier ein Jeder leicht selbst von der Unrichtigkeit des berechneten Resultats durch ein einfaches Experiment überzeugen kann.

#### 1. Die Formel Green's.

2. Ich gehe nun zu der von Wiedemann empfohlenen Formel Green's, von der ich ebenfalls zeigen werde, daß sie für die hier fraglichen Punkte nicht zur Anwendung kommen darf, weil sie für Versuche paßt, die weder den freien noch den erregten Magnetismus der einzelnen Querschnitte in der Längsrichtung eines Magneten genau darstellen.

Ich hatte früher beobachtet, daß zwei Theile eines Elektromagneten, wenn dieser an irgend welcher Stelle durchgeschnitten wird, sich gegenseitig mit einer Kraft anziehen, welche der Entfernung des Durchschnitte vom nächsten Ende des Magneten proportional ist<sup>1)</sup>. Da nun der in einem Stabe erregte Magnetismus dem freien Magnetismus proportional seyn muß, und der letztere sich stets wie die Quadratwurzel der Anziehung verhält, so lag es nahe, zu schliessen, daß der in jedem Querschnitt vorhandene *erregte* Magnetismus ebenfalls der Quadratwurzel der in derselben beobachteten Anziehung proportional seyn werde, wenn der Stab in diesem Querschnitt wirklich durchgeschnitten und die Anziehung beider Theile auf einander geprüft würde. Da nun die Anziehung in den einzelnen Querschnitten vom Ende bis zur Mitte in einer geraden Linie wächst, so folgt daraus für den in jedem Querschnitt des Stabes vorhandenen erregten Magnetismus, daß derselbe durch eine Parabel dargestellt werden müsse, deren Scheitel in der Axe des Magneten liegt.

Die Schwierigkeit diese Behauptung experimentell zu prüfen liegt darin, daß kein Mittel vorhanden ist, den in jedem einzelnen Querschnitt vorhandenen erregten Mag-

1) Pogg. Ann. Bd. 102, S. 206.



netismus für sich zu prüfen. Es ist bereits vorn bei Feststellung des Begriffs des *erregten Magnetismus* auch die Methode seiner Prüfung angegeben, welche darin besteht, daß eine kurze Inductionsspirale an die einzelnen Stellen auf der ganzen Länge des Elektromagneten gebracht und der durch Aufheben des Magnetismus in derselben hervorgerufene Inductionsstrom beobachtet wird. Lenz und Jacobi, von denen diese Untersuchung angestellt ist, nehmen nun an, daß der in dem Stabe an dem Theile unter der Inductionsspirale vorhandene erregte Magnetismus dem beobachteten Inductionsstrom proportional ist. In Folge dieser Annahme messen nun Lenz und Jacobi den in einzelnen Querschnitten erregten Magnetismus in der Weise, daß sie den durch eine 1" lange Inductionsspirale beobachteten Inductionsstrom als Maass für die Intensität des in dem mittleren Querschnitt dieser Spirale befindlichen erregten Magnetismus des Kernes ansehen <sup>1)</sup>. Befindet sich also z. B. bei einer Messung die Inductionsspirale so weit von der Mitte des Magnetkernes, daß der durch ihre Mitte gelegte Querschnitt senkrecht auf ihre Axe 10" von derselben entfernt ist, so nehmen sie an, der erhaltene Inductionsstrom repräsentire den erregten Magnetismus in dem 10" von der Mitte des Magneten entfernten Querschnitt.

Ich habe nun darauf aufmerksam gemacht <sup>2)</sup>, daß diese Messung nur in dem einen Falle richtig sey, wenn die Inductionsspirale sich über der Mitte der Kerne befinde.

Für alle übrigen Lagen der Spirale müsse die Lage des Querschnitts, der das Mittel aus der Gesamtwirkung von beiden Seiten her darstelle, von dem mittleren Querschnitt der Spirale abweichen, und zwar müsse dieser als Resultante aller Wirkungen anzusehende Querschnitt der Mitte des Magnetkernes näher liegen als der mittlere Querschnitt der Spirale, weil der von beiden Seiten her mit verschiedener Intensität wirkende Einfluß in Summa *größer* wäre,

1) Pogg. Ann. Bd. 61, S. 278 u. f.

2) Pogg. Ann. Bd. 104, S. 252.

als wenn die Wirkungen von beiden Seiten her gleich wären.

Gegen diese Ansicht spricht sich nun Wiedeman in folgender Weise aus: <sup>1)</sup>)

»Bei der Untersuchung von Lenz und Jacobi wurde die Annahme gemacht, daß die Differenz der beobachteten Intensitäten den beim Oeffnen des magnetisirenden Stroms verschwindenden Magnetismus des Eisenkerns, also richtiger dem temporären Moment seiner Theile an der gerade unter der Mitte der Inductionsspirale liegenden Stelle proportional ist.«

»Diese Annahme,« fährt Wiedemann fort, »ist indeß nicht ganz richtig, sondern auch das Verschwinden des Magnetismus der zu beiden Seiten dieser Stelle liegenden Theile des Eisenstabes inducirt in der Inductionsspirale einen Strom. Wäre das magnetische Moment aller Theile des Stabes gleich, oder fiel dasselbe von der Mitte zu den Enden gleichmäfsig nach dem Gesetz einer geraden Linie ab, so würde doch an jeder Stelle die Intensität des Inductionstromes dem Moment des Stabes in der Mitte der Inductionsspirale entsprechen, da dann das Moment an zwei um gleichviel nach beiden Seiten von dieser Mitte abliegenden Punkten um gleichviel zu groß und zu klein wäre, die beim Verschwinden desselben erzeugte Induction also dieselbe wäre, als wenn die Momente an beiden Punkten gleich und ebenso groß wie ihr mittlerer Werth, d. i. wie das Moment in der Mitte der Spirale wären. Da aber, wie wir aus den Beobachtungen ersehen, die Momente gegen die Pole des Stabes hin immer schneller abfallen, so sind die Intensitäten der Inductionsströme kleiner (nicht größer), als es die Proportionalität mit dem Moment des in der Mitte der Inductionsspirale liegenden Theiles des Stabes fordert.«

Hier ist eine Differenz in der Meinung über die in den von Lenz und Jacobi angestellten Untersuchungen nothwendig vorkommenden Fehler. Wiedeman hat in Bezug

1) Galv. u. Elektrom. S. 335.

auf  
der  
unm  
Hin  
Sach  
mir  
regt  
Que  
will  
tens  
pers  
elek  
sche  
find  
von  
Entf  
halte  
I  
daß  
neti  
unte  
mag  
Entf  
erha  
vorh  
flus  
gem  
so r  
such  
chen  
abfa  
1)  
2)  
3)  
Po

auf seine Darstellung durchaus Recht, insofern er nur von der Wirkung *des* Theiles des Magneten spricht, welcher unmittelbar unter der Inductionsspirale liegt, und in dieser Hinsicht ist die von mir früher gegebene Darstellung der Sache ungenügend. Allein das ändert nichts an der von mir aufgestellten Behauptung, *dafs der in der Spirale erregte Strom gröfser ist als der, welcher dem mittleren Querschnitt der Spirale entspricht*, wie ich nun zeigen will.

Wiedemann geht von der Ansicht aus, „dafs die Intensität der durch die Magnetisirung des magnetischen Körpers allein in jedem Theil der Inductionsspirale erregten elektromotorischen Kraft der Quantität  $\pm \mu$  der magnetischen Fluida entspricht, welche in dem *unter derselben* befindlichen magnetischen Elemente des magnetisirten Körpers von einander geschieden worden sind, multiplicirt mit der Entfernung, welche jene Fluida dabei in dem Elemente erhalten“<sup>1)</sup>.

Hieraus folgt die Annahme von Lenz und Jacobi, dafs der gemessene Inductionsstrom *der Quantität* des magnetischen Fluidums gleich sey, welche in dem *unmittelbar unter der Inductionsspirale* liegenden Theile des Elektromagneten gelegt ist<sup>2)</sup>. Dafs diese Quantität, noch mit der Entfernung, welche dabei die Fluida in jedem Elemente erhalten, multiplicirt werden mufs, ist, wie van Rees hervorhebt, für das Gesetz der Vertheilung selbst ohne Einflufs<sup>3)</sup>.

Bleiben wir zunächst bei der von Lenz und Jacobi gemachten und von Wiedemann acceptirten Annahme, so müssen, wie Wiedemann zeigt, die Werthe der Versuchsreihen deshalb von denen der Formel etwas abweichen, weil wegen der nicht in Gestalt einer geraden Linie abfallenden Curve, die gemessenen Werthe *kleiner* sind

1) Galv. u. Elektrom. II, S. 278.

2) Pogg. Ann. Bd. 61, S. 274.

3) Pogg. Ann. Bd. 70, S. 16.

Poggendorff's Annal. Bd. CXV.

als die Proportionalität mit dem Moment des in der Mitte der Inductionsspirale liegenden Theiles des Stabes erfordert. Nun zeigt aber die von Wiedemann angestellte Berechnung<sup>1)</sup> der Werthe aus der Formel der Kettenlinie von Green<sup>2)</sup> und von van Rees<sup>3)</sup>:

$$m = a - b(\mu^* + \mu^{-})$$

durchaus keine regelmässigen Abweichungen, sondern die beobachteten und berechneten Werthe stimmen mit einander auf eine so gute Weise überein, dass man gar nicht mehr verlangen kann. Diefs kann Wiedemann, da er gar nicht weiter auf die nothwendigen Fehler zurückkommt, nur so erklären, dass diese Fehler zu unbedeutend sind, als dass sie gegen die doch immer noch vorhandenen Versuchsfehler hervortreten könnten. Und hierzu ist er auch durchaus berechtigt, denn die hier in Rede kommenden Abweichungen können in der That nur sehr klein seyn.

3. Wäre nun hiermit die Sache zu Ende, so würde Alles sehr schön übereinstimmen und die Formel der Kettenlinie müsste unbedingt als der den Versuchen entsprechende allgemeine Ausdruck angesehen werden, besonders da sie »aus den einfachsten Grundgesetzen der magnetischen Anziehung und Abstossung abgeleitet ist<sup>4)</sup>«. Nun ist aber die Sache hiermit keines Weges beendet, sondern es ist in dieser ganzen Betrachtung ein wichtiger, durchaus nicht zu vernachlässigender Punkt aufser Acht gelassen.

Dieser Punkt besteht darin, dass der in einer kurzen auf dem Kerne befindlichen Inductionsspirale hervorgerufene Strom nicht der Quantität des magnetischen Fluidums proportional ist, die durch den unmittelbar unter ihr liegenden Theil des Elektromagneten hervorgerufen wird, sondern dass hierzu die Wirkung der Theile des Magneten kommt, welche zu beiden Seiten der Inductionsspirale liegen.

1) Wiedemann, Galv. u. Elektrom. II, S. 336.

2) Crell's Journ. Bd. XLVII, S. 215.

3) Pogg. Ann. Bd. 70, S. 13.

4) Wiedemann, Galv. u. Elektrom. II, S. 344.

Um nun zu zeigen, wie bedeutend diese Seitenwirkung des Magneten auf die Spirale ist, habe ich folgende Versuche angestellt.

Die auf dem Schlitten des du Bois'schen Inductionsapparates befestigte Spirale von  $2\frac{1}{4}$ " und  $1\frac{5}{8}$ " innerer Weite wurde abgenommen, und die auf dem Schlitten befestigten beiden Klemmen, welche die Enden der aus vielen Windungen bestehenden Inductionsspirale sind, wurden mit den Klemmen des Multipliers verbunden. Darauf wurden in diese Spirale folgende drei Kerne eingeführt:

- 1) Ein 1" dicker 1 Fufs langer cylindrischer Stahlmagnet.
- 2) Ein 1" dicker 2 Fufs langer cylindrischer Elektromagnet, dessen Spirale den Kern an dem einzuführenden Ende 2" weit frei liefs, sonst aber auf den noch übrigen 22" ganz bedeckte.
- 3) Ein  $1\frac{1}{2}$ " dicker 1 Fufs langer Elektromagnet, ganz wie der vorige mit der galvanischen Spirale bedeckt.

Wegen der später zu besprechenden Versuche von van Rees wandte ich vor allen den Stahlmagneten an. Die Magnete wurden so verwendet, dafs sie einerseits ganz in die Inductionsspirale eingeführt wurden und anderseits solche Lage zur Inductionsspirale einnahmen, dafs die Endfläche des Magneten mit der Ebene der ersten Spiralwindung zusammenfiel. War in beiden Fällen, nachdem der Kern seine Lage erhalten hatte, die Nadel des Multipliers zur Ruhe gekommen, so wurden die Magnete von oder aus der Spirale entfernt und die dadurch hervorgerufenen Ablenkungen der Multipliatornadel genau beobachtet. Jeder Versuch wurde 5mal wiederholt und das Mittel aus diesen verzeichnet. Darauf wurden die Versuche in der Weise wiederholt, dafs die beiden Elektromagnete in ihrer jedesmaligen Lage verblieben und der sie magnetisirende Strom unterbrochen wurde. In dieser Weise erhielt ich folgende Nadelablenkungen  $\alpha$ , deren Sinus der halben Ablenkungswinkel dem verschwindenden Magnetismus proportional sind.

## XII.

## Magnete

| a) bei der Entfernung von der Spirale: $\alpha$ |      | $\sin \frac{\alpha}{2}$ |
|---|------|-------------------------|
| No. 1 in der Spirale                            | 34°  | 0,2924                  |
| » 1 vor » »                                     | 4°,5 | 0,0392                  |
| » 2 in » »                                      | 77°  | 0,6225                  |
| » 2 vor » »                                     | 10°  | 0,0872                  |
| » 3 in » »                                      | 65°  | 0,5373                  |
| » 3 vor » »                                     | 7°   | 0,0611                  |

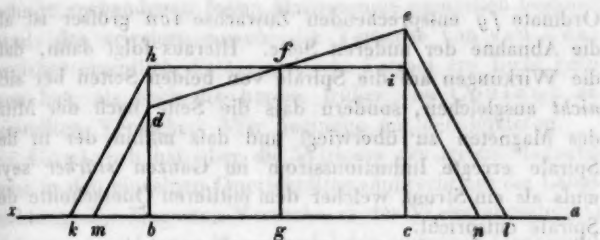
## b) bei der Stromunterbrechung:

|                      |      |        |
|----------------------|------|--------|
| No. 2 in der Spirale | 69°  | 0,5664 |
| » 2 vor » »          | 6°,5 | 0,0567 |
| » 3 in » »           | 55°  | 0,4618 |
| » 3 vor » »          | 5°   | 0,0436 |

Diese Versuche zeigen, daß der Inductionsstrom, welcher in einer vor der Endfläche des Magneten befindlichen Spirale beim Entfernen des Magneten oder Vernichten des Magnetismus entsteht, doch durchaus nicht unbedeutend ist. Derselbe ist in dem hier zur Sprache kommenden Falle, nämlich in den unter b) verzeichneten Werthen, ziemlich genau  $\frac{1}{10}$  von dem, den der Kern bewirkt, wenn er ganz in der Spirale steckt, während jene doch gerade die am geringsten wirkende Stellung ist.

Nachdem dies Factum festgestellt ist, wird es einleuchten, daß wir bei der Betrachtung der Wirkung eines Magnetkernes auf die Inductionsspirale die Wirkung desselben von den Stellen her, über welche die Spirale nicht reicht, nicht unberücksichtigt bleiben darf.

Nehmen wir nun zu der vorn von Wiedemann durchaus klar gegebenen Auseinandersetzung über die Wirkung des Magneten unmittelbar unter der Inductionsspirale die Seitenwirkung desselben hinzu, lassen mit Wiedemann die Krümmung der Curve außer Acht, und betrachten den kurzen Theil der Spirale wie eine gerade Linie, so würde sich möglichst veranschaulicht Folgendes ergeben.

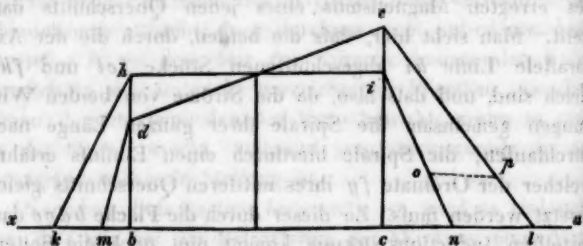


In der beistehenden Figur bedeutet  $xa$  die Abscissenaxe und  $bc$  den Theil derselben, welcher die Länge der Inductionsspirale darstellt. Sind  $bd$  und  $ce$  die Ordinaten, welche die zu beiden Enden der Spirale erregten Inductionsströme repräsentiren, so ist die Fläche  $bdec$  die Größe des ganzen in der Spirale erregten Inductionsstromes, welcher von dem unter ihr liegenden Theile des Magneten hervorgerufen wird und  $de$  ist die Curve, welche die Zunahme des erregten Magnetismus eines jeden Querschnitts darstellt. Man sieht hier, daß die beiden, durch die der Axe parallele Linie  $hi$  abgeschnittenen Stücke  $fei$  und  $fhd$  gleich sind, und daß also, da die Ströme von beiden Wirkungen gemeinsam die Spirale ihrer ganzen Länge nach durchlaufen, die Spirale hierdurch einen Einfluß erfährt, welcher der Ordinate  $fg$  ihres mittleren Querschnitts gleich gesetzt werden muß. Zu dieser durch die Fläche  $bdec$  dargestellten Inductionswirkung kommt nun noch die Seitenwirkung, die wir durch die Linien  $dm$  und  $cl$  darstellen wollen, welche unter gleichen Winkeln von  $d$  und  $e$  aus abfallen. Unter dieser Bedingung stellen die Dreiecke  $dmb$  und  $ecl$  die Zuwächse dar, um welche der Inductionsstrom vergrößert wird, so daß nun die Fläche, welche den ganzen inducirten Strom darstellt,  $mled$  ist. Von diesen beiden Stücken ist  $dmb$  um das Stück  $hdmk$  kleiner als das Dreieck  $hbk$  und das Stück  $ecl$  um das Stück  $eicn$  größer als dasselbe Dreieck  $hbk$  oder  $icn$ . Diese beiden Stücke  $eicn$  und  $hdmk$  beweisen nun aber, daß der Zuwachs auf der Seite, wo die Curve wächst, im Vergleich mit einem der



Ordinate  $fg$  entsprechenden Zuwachse  $icn$  größer ist als die Abnahme der anderen Seite. Hieraus folgt dann, daß die Wirkungen auf die Spirale von beiden Seiten her sich *nicht* ausgleichen, sondern daß die Seite nach der Mitte des Magneten zu überwiegt und daß mithin der in der Spirale erregte Inductionsstrom im Ganzen *stärker* seyn muß als ein Strom, welcher dem mittleren Querschnitte der Spirale entspricht.

In Bezug auf die gezeichnete Figur ist nun außerdem noch zu bemerken, daß der Fehler zu klein genommen ist, wenn man den Abfall der Curve  $el$  gleich der auf der andern Seite nimmt. Derselbe muß bei  $el$  weniger steil seyn als der bei  $dm$  weil von  $ec$  aus der Magnetismus immer größer wird, während er nach der Seite von  $db$  ab immer mehr abnimmt. Hierdurch werden die Unterschiede noch größer und eine bildliche Darstellung würde etwa folgende Gestalt erhalten müssen, wenn sie die Größe dieser



Unterschiede annäherungsweise wirklich darstellen sollte. Es wäre hiernach, wenn  $eiop = hdmk$  gesetzt wird, das Stück  $nopl$  die Größe des Unterschiedes der Wirkungen von beiden Seiten her. Mögen nun die hier in geraden Linien dargestellten Curven  $hk$ ,  $dm$ ,  $in$  und  $el$  in der Wirklichkeit auch gekrümmt seyn, die Sache bleibt in dieser Beziehung dieselbe. Die Formel Green's paßt für Versuche, welche nicht genau den in jedem Querschnitt vorhandenen *erregten* Magnetismus darstellen.

4. Daß nun aber die von Green eigentlich für den *freien* Magnetismus entwickelte Formel nicht den Versuchen entspricht, welche möglichst genau den in jedem Quer-

sch  
sind  
wel  
gen  
gest

mus  
rich  
daß  
ten  
über  
ten  
W  
-K  
bar  
mag

nicht  
den  
sie  
daß  
wir  
len,  
wei  
wä

W  
den  
nen  
Qu

Re  
and  
bis  
dau

1)  
2)  
3)

schnitt vorhandenen freien Magnetismus anzugeben bestimmt sind, das erweisen sowohl die Versuche von van Rees, welcher eigentlich die Green'sche Formel ans Licht gezogen hat, als auch die bereits früher von Coulomb angestellten Versuche. Wir beginnen mit den letzteren.

Coulomb hat über die Wirkung des freien Magnetismus in den einzelnen Querschnitten senkrecht auf die Längsrichtung des Magneten Versuche in der Weise angestellt <sup>1)</sup>, daß er eine  $\frac{1}{4}$ " lange Magnetnadel den einzelnen Querschnitten eines senkrecht gestellten magnetischen Drahtes gegenüberstellt, und aus den Schwingungen dieser Nadel die Intensität des auf sie wirkenden freien Magnetismus bestimmt. Wiedemann sagt nun in Bezug auf diese Versuche <sup>2)</sup>: „Kann man annehmen, daß nur die dicht vor und unmittelbar über und unter der Nadel befindlichen Stellen des magnetischen Stahlstabes auf sie einwirken,“ usw.

Nun bin ich der Meinung, daß man diese Annahme nicht machen darf. Hängt man nämlich eine Nadel neben dem Stabe auf, so hängt diese nicht horizontal, sondern sie richtet sich ganz entschieden nach dem Pole hin, so daß sie in der Mitte des Stabes fast senkrecht steht. Es wirken also nicht allein die in der Nähe befindlichen Stellen, sondern es wirkt der ganze Stab und zwar annäherungsweise so, als ob der Magnetismus in den Polen concentrirt wäre.

Wenn nun die bei diesen Beobachtungen erhaltenen Werthe durch die Green'sche Formel wiedergegeben werden, muß man dann nicht zugeben, daß die Formel für einen ganz anderen Fall Bedeutung hat als für den in jedem Querschnitt vorhandenen freien Magnetismus?

5. Schliesslich kommen wir zu den Versuchen von van Rees <sup>3)</sup>. Dieser Physiker experimentirt nach einer ganz anderen Methode. Er führt Stahlmagnete in eine Spirale bis auf gewisse Abstände vom Ende ein, und beobachtet dann die Intensität des Inductionstromes, welcher beim

1) *Hist. de l'Acad. de Paris* 1789 p. 468; *Gehler*, VII. p. 789.

2) *Galv. u. Elektrom.* Bd. II, S. 350.

3) *Pogg. Ann.* Bd. 74, S. 313.

Herausziehen des Magneten aus der Spirale entsteht. Es zeigt sich dabei der stärkste Strom, wenn die Spirale sich auf der Mitte des Magneten befunden hatte, so dafs also der halbe Magnet durch sie hindurch geführt wurde.

Betrachten wir nun einmal den hierbei auftretenden Einfluß auf die Inductionsspirale genauer. Derselbe besteht aus zwei Theilen, deren einer hervorgerufen wird durch Zunahme des freien Magnetismus von der Mitte bis zum Ende hin, während der andere Theil bewirkt wird durch das Entfernen des bereits ausserhalb der Spirale befindlichen Magneten von dieser Spirale. Dafs dieser letztere Theil nicht zu vernachlässigen ist sagt van Rees selbst, denn er bemerkt: „Beim Abschieben wurde die Spirale weit genug vom Magneten entfernt, um sicher zu seyn, dafs ein weiteres Entfernen die Induction nicht vermehren könne.“ Dafs die Wirkung nicht unbedeutend ist, haben meine Versuche in No. 1 der Tabelle XII gezeigt.

Man wird nun einsehen, dafs dieser letztgenannte Einfluß bei jedem Abziehen der Spirale derselbe ist, mag der Magnet sich bis zur Mitte oder nur mit seinem Ende in der Spirale befunden haben. Ausser den bei den Jacobi'schen Versuchen auftretenden Seitenwirkungen besteht also hier jede Beobachtung aus einem, von dem Hindurchgehen des Magneten durch die Spirale erregten, *variablen* und aus einem *constanten* Theil des Inductionsstromes, welcher letztere doch nicht auf die Wirkung der Endfläche allein bezogen werden kann. Wenn für diese Beobachtungen die Green'sche Formel Anwendung findet, so ist dagegen nichts einzuwenden, es könnte nur Wunder nehmen, dafs sie dann auch für die Untersuchungen von Lenz und Jacobi Anwendung finden soll. Vielleicht erklären sich daraus die gröfseren Abweichungen, welche van Rees bemerkt. Es ist nicht meine Sache dies zu untersuchen, aber — das wird hieraus unzweifelhaft klar, dafs dann die Formel nicht der Ausdruck für den in jedem Querschnitt vorhandenen freien Magnetismus seyn kann.

6. Ueberblicke ich hiernach die von Wiedemann

gemachten Bemerkungen über die besprochene Formel, so habe ich nichts dagegen einzuwenden, wenn er sagt, die Green'sche Formel sey aus den einfachsten Grundgesetzen der magnetischen Anziehung und Abstossung abgeleitet, nur kann ich nicht damit einverstanden seyn, dafs er wegen dieser für ganz andere Fälle Anwendung findenden Formel meine empirischen, durch »Probiren« gefundenen Ausdrücke verwerfen will.

Ich kann Wiedemann ferner nicht beistimmen, wenn er aus dieser Formel schliessen will, dafs »die richtigen Ausdrücke *eigentlich* noch complicirter werden.« Zu einem solchen Schlusse bieten diese Entwicklungen einerseits gar keinen Grund, während anderseits die Rechnung Neumann's das Gegentheil zeigt. Diese Rechnung Neumann's klärt uns aber auch darüber auf, dafs ein Magnet für den Fall, wo alle Theile des Eisenstabes gleichen magnetisirenden Kräften unterworfen sind, *ganz andere Resultate zeigt*, als wenn diefs nicht der Fall ist. Dafs aber Green's Rechnung für diesen Fall angestellt ist, das sagt Wiedemann selbst').

## 2. Meine Versuchsergebnisse.

7. Alle bisherigen Auseinandersetzungen haben nur die Unzulänglichkeit der Green'schen Formel für cylindrische Stäbe darthun sollen, während sie für ein Ellipsoid entwickelt ist; sie beweisen aber noch gar nicht, dafs die von mir aufgestellte Formel ganz unbedingt das allgemeine Gesetz der auf der Länge eines Stabes vorhandenen magnetischen Vertheilung gäbe. Es ist nicht unmöglich, obgleich ich daran zweifle, dafs die Mathematik später, wenn man die Vertheilung des Magnetismus in den Querschnitten des Kernes kennen wird, eine Formel zu geben im Stande seyn wird, welche eine Curve bezeichnet, deren Gang vielleicht von der bezeichneten Parabel ein wenig abweicht; allein eine solche Abweichung kann nur so gering seyn, dafs sie bei den

1) Galv. u. Elektrom. Bd. II, S. 345.

beobachteten Werthen durch die Versuchsfehler verdeckt wird.

Die von mir gefundenen Sätze gründen sich auf ein großes System unter einander zusammenhängender Versuchsreihen, und auf Sätze, die sich fast bei jedem einzelnen Versuche als unumstößlich richtig erweisen und bisher auch noch von keinem Physiker bezweifelt worden sind.

Unter diesen Sätzen steht der, wohl zuerst von Joule ausgesprochene Satz, oben an <sup>1)</sup>:

*»Die Anziehung (ich betone nochmals, nicht die Tragkraft!) ist dem Quadrate des erregten Magnetismus proportional.«*

Diesen Satz findet man unter allen Umständen bestätigt. Wenn daher diese Anziehung irgend wo auftritt, so kann man mit Recht umgekehrt schließen, daß der in diesem Querschnitt, wo sich die beiden Magnete berühren, vorhandene erregte Magnetismus der Quadratwurzel dieser Anziehung proportional seyn werde.

Ist dieser Satz richtig, so unterliegen alle von mir aufgestellten Sätze keinem Zweifel.

Ich habe nämlich beobachtet, daß Systeme zweier Magnete von gleicher Länge immer eine Anziehung geben, welche der Länge des ganzen Systems proportional ist. Daraus folgt, daß der in der Mitte eines Stabes erregte Magnetismus der Quadratwurzel der Länge des Stabes proportional seyn muß.

Ich habe ferner beobachtet, daß die Anziehung eines seiner ganzen Länge nach mit der Spirale umwickelten Stabes, wenn derselbe an verschiedenen Entfernungen von der Mitte aus durchgeschnitten wird, der Entfernung dieses Querschnitts vom nächsten Ende proportional ist, woraus dann folgt, daß der in diesem Querschnitt vorhandene erregte Magnetismus der Quadratwurzel der Entfernung vom nächsten Ende proportional seyn muß.

Hiermit ist die von Wiedemann so sehr angegriffene Curve gegeben, welche in Form einer Parabel auftritt. Aus

1) Sturgeon Ann. cf. El. 4, 474 (1840).

welchem Grunde Wiedemann behauptet, daß dieses Gesetz nur innerhalb enger Gränzen Geltung habe, weiß ich nicht, denn Versuche scheint er darüber nicht gemacht zu haben. Er stützt sich auf die von ihm vertheidigte Formel, deren Anwendbarkeit jedoch nach dem Vorhergehenden nicht zulässig ist.

Ich habe gezeigt, daß dieses Gesetz innerhalb gewisser Gränzen auch dann gilt, wenn der eine der angezogenen Stäbe nicht mit der Spirale bewickelt ist, für zwei Elektromagnete kenne ich aber keine Gränzen hinsichts dieses Gesetzes.

Wenn ich dann zeige, daß die in gewissem Grade wegen der angewandten Methode unvollkommenen Versuche von Lenz und Jacobi, doch in so hohem Grade mit meinem Satze übereinstimmen, wie eine Zusammenstellung der sorgfältigen Versuche der Petersburger Physiker auf S. 264 im 104. Bande von Poggendorff's Annalen zeigt, so halte ich den nach diesen Versuchen in Wiedemann's Werk gethanen Ausspruch nicht für begründet. Ich habe nämlich an der genannten Stelle eine Zusammenstellung der Werthe gegeben, welche Lenz und Jacobi für jeden Querschnitt bei den verschiedenen Magneten erhalten haben. Die in diesen Querschnitten auftretenden magnetischen Intensitäten müssen nämlich für verschieden lange Kerne gleich seyn, wenn die Querschnitte gleich weit vom Ende entfernt sind. Eine solche Zusammenstellung ergab folgende Reihen:

## XIII.

| Länge der<br>Magnete | Entfernung des Querschnitts vom Ende eines jeden Magneten. |         |         |         |         |         |
|----------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
|                      | 4,5"   | 6,5"    | 8,5"    | 12,5"   | 16,5"   | 20,5"   |
| 1'                   | 0,03433  |         |         |         |         |         |
| 1,5'                 | 0,03693  | 0,04404 | 0,04506 |         |         |         |
| 2'                   | 0,03676  | 0,04368 | 0,04852 |         |         |         |
| 2,5'                 | 0,03581  | 0,04380 | 0,04961 | 0,05630 |         |         |
| 3'                   | 0,03470  | 0,04281 | 0,04771 | 0,05820 | 0,06113 |         |
| 3,5'                 | 0,03150  | 0,03926 | 0,04568 | 0,05475 | 0,06017 | 0,06210 |
| 4'                   | 0,03094  | 0,03863 | 0,04513 | 0,05496 | 0,06127 | 0,06506 |

Erwägt man nun, daß die Resultate der verschieden langen Kerne in gleichem Abstände vom Ende verschiedenen Einfluß durch die Seitenwirkung erfahren müssen, da ja die Krümmung der Curve, z. B. 4",5 vom Ende, bei dem 1' langen Magneten eine andere seyn muß als bei den größeren, so wird man zugeben müssen, daß trotz der vorhandenen Abweichungen von der Constanz der Werthe, dieselben doch noch in einem Grade übereinstimmen, wie man es nur unter den obwaltenden Umständen verlangen kann.

Ich glaube in dem bisher Gesagten durchaus folgerechte Schlüsse gemacht zu haben, dagegen sagt Wiedemann nach Anführung der bis jetzt hier gegebenen Resultate <sup>1)</sup>:

»Wenn auch anzuerkennen ist, daß die von Dub aufgestellten Sätze innerhalb gewisser Gränzen den Beobachtungsergebnissen sich ziemlich gut anschließen, so dürfen dieselben doch mit Rücksicht auf die unter 1) angegebenen Punkte als rein empirische, durch Probiren gefundene Ausdrücke kaum an Stelle der aus den einfachsten Grundgesetzen der magnetischen Anziehung und Abstossung zuerst von Green direct abgeleiteten Formeln gesetzt werden, welche sich den Gesetzen der Kettenlinie anschließen.«

Ich sehe weder wo hier von »gewissen Gränzen«, noch von »Probiren« die Rede seyn kann. Ich habe einfach die Versuche von Lenz und Jacobi mit den meinigen verglichen und von Gränzen ist nichts zu sehen, denn gerade die langen Magnete geben mehr übereinstimmende Resultate als die kurzen.

8. Was nun die unter 1) erwähnten Punkte Wiedemann's betrifft, so sehe ich den Vorwurf nicht ein, der in denselben liegt. Unter dieser Nummer spricht sich nämlich Wiedemann gegen die von mir aufgestellte Curve deshalb aus, weil dieselbe aus zwei Parabeln besteht, deren Scheitel in den Enden des Magneten liegen und die sich in der Mitte so schneiden, daß daselbst ein Bruch entsteht. Beide Punkte enthalten keinen Grund zur Verwerfung des Gesetzes.

1) Galv. u. Elektr. II, S. 344.



9. Schliesslich muss ich nun noch auf das Gesetz kommen, welches ich für die Vertheilung des freien Magnetismus auf der Länge des Kerns gefunden habe.

Fürs Erste habe ich gefunden, *dass der freie Magnetismus verschieden langer Stäbe den Quadratwurzeln der Stab-längen proportional ist.*

Diesem Satze stimmt Wiedemann nicht bei, wegen der Formel von Green, und in der That passen die für diesen Fall von ihm berechneten Werthe sehr gut mit den von Lenz und Jacobi gemachten Beobachtungen in Bezug auf den erregten Magnetismus, allein diese Rechnung flößt nicht rechtes Vertrauen ein, denn die Division der Momente in der Mitte der Stäbe in die Gesamtmomente derselben giebt die bereits unter No. 1 besprochenen Polabstände, die in so hohem Grade von dem durch Probiren gefundenen Resultate abweichen, dass ich doch diese für richtiger als die Rechnung halten muss.

Wir wenden uns daher zu den directen Beobachtungen des freien Magnetismus.

Will man den freien Magnetismus verschieden langer Stäbe mittelst der Ablenkung durch eine in Entfernung aufgestellte Magnetnadel bestimmen, so tritt dabei eine besondere Erwägung hervor. Die vergrößerte Ablenkung der Nadel durch immer längere Magnetstäbe hat nämlich einen doppelten Grund. Derselbe muss einerseits deshalb größer werden, weil die Zahl der Eisentheile wächst, in denen der Magnetismus bei gleicher magnetisirender Kraft erregt wird, andererseits aber auch deshalb, weil mit der wachsenden Länge der Stäbe, die Entfernung der Pole von einander in gleichem Maasse zunimmt. Man erhält also, wenn man die zu prüfenden Magnete in der Ost-West-richtung einer Nadel gegenüber legt, nicht eine Ablenkung, welche allein durch die Menge des vertheilten Magnetismus bedingt wird, sondern dieselbe wird auch noch durch die zunehmende Entfernung der Pole vergrößert.

Um den letzteren Einfluss zu entfernen, wußte ich kein anderes Mittel, als dass ich den Stäben Hufeisenform gab,

so dafs bei zunehmender Länge derselben, der Abstand der Pole derselbe blieb. In diesem Falle, der doch durchaus der Sache entspricht, ergaben die Nadelablenkungen Werthe, welche durchaus den Quadratwurzeln der Stablängen proportional waren <sup>1)</sup>. Die auf diese Weise erhaltenen Reihen sind folgende:

## XIV.

| Länge der Kerne | Durchmesser     | $\alpha$                | $\lg \alpha = m$ | $\frac{m}{\sqrt{l}}$ |
|-----------------|-----------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| 17"             | $\frac{1}{2}$ " | $14\frac{3}{4}^{\circ}$ | 0,254            | 616                  |
| 23"             | $\frac{1}{2}$ " | $16\frac{1}{2}^{\circ}$ | 0,296            | 617                  |
| 29"             | $\frac{1}{2}$ " | $18\frac{1}{4}^{\circ}$ | 0,3346           | 621                  |
| 13"             | 1"              | $19\frac{1}{2}^{\circ}$ | 0,354            | 982                  |
| 17"             | 1"              | $22\frac{1}{4}^{\circ}$ | 0,409            | 991                  |
| 23"             | 1"              | $25^{\circ}$            | 0,466            | 972                  |
| 29"             | 1"              | $28^{\circ}$            | 0,5327           | 987                  |
| 53"             | 1"              | $35\frac{1}{2}^{\circ}$ | 0,7134           | 980                  |
| 17"             | 2"              | $28\frac{1}{4}^{\circ}$ | 0,5373           | 13                   |
| 29"             | 2"              | $37\frac{1}{4}^{\circ}$ | 0,7742           | 14,5.                |

Wiedemann sagt zu diesen Versuchen: »Bei den längeren Hufeisen dürften die beobachteten Werthe etwas zu klein ausgefallen seyn, da die Pole in ihnen über die Ebene der Polflächen immer mehr hinaufrücken. Ueberhaupt dürfte allen bisher angeführten Beobachtungswerthen keine zu grosse Bedeutung beigelegt werden, da die Beschaffenheit des Eisens der Stäbe auf dieselben vom grössten Einflusse ist. Selbst wenn man aus demselben Stabe von weichem Eisen verschiedene Stücke schneidet, zeigen sie bei gleicher Behandlung zuweilen schon ein etwas abweichendes Verhalten.«

Was den ersten Punkt betrifft, so kann derselbe hier nur sehr wenig in Betracht kommen, Wiedemann schlägt ihn nur höher an, weil nach ihm die Differenz der Polabstände 7"; während sie wirklich nur  $1\frac{1}{2}$ " ist. Das kann

1) Pogg. Ann Bd. 102, S. 209 und 210. Dub, Elektrom. S. 268.

aber bei einem 21" großen Abstände von der Nadel keinen merkbaren Unterschied machen.

Hinsichts des zweiten Umstandes ist nur zu bemerken, daß derselbe für alle Versuche gilt. Wie könnten dann die Versuche, für welche Wiedemann nach Green's Formel die Werthe berechnet, die Brauchbarkeit der Formel erweisen? — In der That sind aber die durch das Eisen bewirkten Abweichungen nicht so groß, wenn man nur dieselbe Eisensorte beibehält. Bei feinem, weichen Eisen liegen dann die Unterschiede nur in dem besseren oder schlechteren Glühen, was man aber bei öfterem Gebrauch sehr bald bemerkt.

Ich kann hierin Wiedemann durchaus nicht beistimmen, sondern halte mich nach den mitgetheilten Versuchen durchaus zu dem Schlusse berechtigt, daß bei gleicher magnetisirender Kraft, die die Kerne stets ihrer ganzen Länge nach bedeckt, der freie Magnetismus eines Stabes der Quadratwurzel aus seiner Länge proportional ist, ganz wie er den Wurzeln der Durchmesser proportional zunimmt.

10. Da die von Coulomb und van Rees angestellten Versuche hinsichts der Vertheilung des freien Magnetismus in jedem Querschnitt des Kerns durchaus nicht den Anforderungen entsprechen, wie bereits in No. 5 und 6 nachgewiesen ist, so habe ich früher solche nach einer anderen Methode unternommen<sup>1)</sup>. Da nämlich die Anziehung proportional dem Quadrate des an jedem Querschnitte vorhandenen freien Magnetismus seyn muß, so habe ich diese Anziehung an verschiedenen Punkten des Kernes mittelst eines abgerundeten Ankers geprüft, und die sich als freien Magnetismus ergebende Curve als eine Parabel gefunden, welche ihren Scheitelpunkt in einer Senkrechten auf der Axe des Magneten hat, welche in dem Endpunkte derselben errichtet ist und deren Axe mit der Magnetaxe parallel läuft. Die Versuchsergebnisse stimmen so genau mit den berechneten Werthen überein, als nur irgend welche Formel ergeben kann.

1) Pogg. Ann. Bd. 106, S. 89 u. f. Dub., Elektrom. S. 273.

Gegen diese Uebereinstimmung läßt sich nichts einwenden, Wiedemann greift aber die angewandte Methode an. Er sagt <sup>1)</sup>: »Ueberdies müchte bei den vorliegenden Versuchen auch kaum die Anziehung vollständig dem Quadrat des freien Magnetismus an den einzelnen Stellen des Stabes entsprechen. Die Axe des auf die Seitenflächen des Stabes aufgesetzten Ankers steht vertical auf der Axe des letzteren. Wird also im Anker Magnetismus durch den freien Magnetismus der Stäbe erregt, so werden dadurch die Moleculé desselben, deren Axen auch auf der Axe des Ankers mehr oder weniger vertical stehen, abgelenkt, sie kehren sich mit ihren einen Enden dem Anker zu. Es vermehrt sich dadurch die Anziehung. So wird dieselbe nicht dem Quadrat des freien Magnetismus entsprechen, sondern verhältnißmäßig stärker seyn.«

Hierauf habe ich ganz einfach zu erwiedern, *dafs wenn diefs ein Grund gegen die Proportionalität der Anziehung mit dem Quadrat des freien Magnetismus wäre, diese Proportionalität nie auftreten könnte.* Wiedemann sagt oben selbst, die Anziehung wird durch diesen Umstand *verhältnißmäßig stärker.* Von *Verhältnifs* ist aber hier nur die Rede! Wenn der Anker aufgesetzt wird, so wird ganz richtig in ihm Magnetismus erregt und dieser bewirkt wieder eine Verstärkung an der Stelle, wo der Anker aufgesetzt ist; aber — *diese Steigerung kann doch immer nur dem als erstes Agens wirkenden freien Magnetismus dieser Stelle proportional seyn!* Welche Steigerung findet z. B. statt, wenn man einen Anker auf die beiden Enden eines Hufeisens legt! und — doch sind die Anziehungen sowohl die des einen Poles, wie die so vielfache, wenn beide Pole gleichzeitig wirken, *in beiden Fällen dem Quadrate des freien Magnetismus proportional!*

Es ist aber aus den bereits vorn besprochenen Gründen klar, weshalb meine Methode zu anderen Resultaten führen muß als die von Coulomb oder von van Rees. Bei meiner Methode wirkt in weit höherem Grade der freie

Mag  
aufg  
schn  
so  
achte  
achtu  
und  
welch  
band  
lerne  
netk  
D  
der v  
aus  
kann  
hau  
Grän  
druck  
aufge  
geleit  
wick  
ken,  
ben  
Geset  
den,  
Ber

Magnetismus des Querschnitts allein, auf den der Anker aufgesetzt wird, und eben weil dann gerade dieser Querschnitt auch die eben besprochene Verstärkung bewirkt, so kann man um so besser die Wirkung desselben beobachten. Es ist deshalb sehr natürlich, wenn die *diese* Beobachtungen darstellende Formel von der Green's abweicht, und es muß dem Urtheile der Physiker überlassen bleiben, welche sie wählen, wenn sie den in einem Querschnitt vorhandenen freien Magnetismus eines Eisencylinders kennen lernen wollen, dessen Theile nicht alle von gleicher Magnetkraft influirt werden.

Da nun Wiedemann so wenig wie ich die Gränzen der von mir gefundenen Formel kennt, und man sie auch aus der Green'schen weder erschließen noch berechnen kann, so muß ich mich schließlicly auch gegen die Behauptung verwahren, daß dieselbe nur innerhalb gewisser Gränzen Geltung habe, und der wahre theoretische Ausdruck der Vertheilung des freien Magnetismus die von Biot aufgestellte und von Green auf theoretischem Wege abgeleitete Formel sey. Diese Formel ist für den Fall entwickelt, daß auf alle Theile des Stabes gleiche Kräfte wirken, und Neumann's Rechnung wie meine Versuche haben gezeigt, daß unter diesen Bedingungen ganz andere Gesetze gelten als die, welche auf Stäbe Anwendung finden, deren Spirale höchstens bis zu ihrem Ende reicht.

Berlin im December 1861.

### III. Beiträge zur chemischen Analyse durch Spectralbeobachtungen;

von Dr. R. Theod. Simmler,

Docent der Chemie an der Universität in Bern<sup>1)</sup>.

Im Verlaufe des Jahres 1860 publicirte bekanntlich Prof. Kirchhoff erst allein, später in Gemeinschaft mit Hofrath Bunsen, Untersuchungen über die Lichtspectren der Flammen, welche, wegen der ungeahneten Tragweite der Resultate, das Interesse nicht nur jedes Fachmannes, sondern jedes Gebildeten überhaupt im höchsten Grade in Anspruch zu nehmen geeignet waren<sup>2)</sup>.

Die Physiker wurden über den innigen Zusammenhang des Absorptions- und Emissionsvermögens der Körper für Wärme und Lichtstrahlen theoretisch wie experimentell belehrt und den Chemikern eröffneten sich ganz neue Bahnen qualitativ chemischer Analyse. Es wurden den letztern Methoden dargeboten, die ihnen erlaubten die Materie auch des kleinsten Sonnenstäubchens in Hinsicht auf gewisse Elemente zu verfolgen. Aber nicht zufrieden damit, die minimsten Mengen der sogenannten alkalischen Metalle in irdischen Substanzen nachweisen zu können und neuen Elementarstoffen mit Leichtigkeit auf die Spur zu kommen, drangen die kühnen Forscher hinaus in den unermesslichen

- 1) Diese Arbeit erschien, mit Ausnahme mehrerer Zusätze, bereits im Jahresbericht der bündnerischen naturforschenden Gesellschaft für 1860. (Dasselbst ist ihr auch eine Farbentafel beigegeben, die hier, ihrer Kostbarkeit wegen, fortgelassen werden mußte. P.) Die Untersuchungen fielen in die Monate December und Januar 1860 und 1861.

- 2) Kirchhoff. Ueber die Fraunhofer'schen Linien. Poggendorff's Annalen CIX. 148.

Kirchhoff. Ueber das Verhältniß zwischen dem Emissions- und Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. Ebendasselbst. CIX. 274.

Kirchhoff und Bunsen, chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. Ebendasselbst. CX. 161.

Weltraum und bewiesen uns zunächst für unser Centralgestirn, daß der äußere Theil seiner leuchtenden Hülle gleichsam ein Flammenocean sey, in welchem die glühenden Dämpfe der Metalle Kalium, Natrium, Eisen und wohl noch anderer vorhanden seyn müssen.

Angesichts solch glänzender Fortschritte im Gebiete der Chemie hat sich wohl jeder Chemiker beeilt, die Bunsen-Kirchhoff'schen Versuche zu wiederholen und ihre Methoden zu anderweitigem praktischem Gebrauche sich anzu eignen.

Ich habe das Glück, die beiden Forscher persönlich zu kennen und unter der Leitung Bunsens gearbeitet zu haben; um so mehr fühlte ich mich daher angezogen, ihnen auf dieser Bahn so weit meine Kräfte und meine Zeit es erlaubten, zu folgen, als diese spectralanalytischen Methoden vorzüglich sich eignen, geologisch-chemische Studien zu unterstützen, für welche sich nirgends mehr als in Graubünden ein überreichliches Material findet.

Meine erste Aufgabe bestand sonach darin, die Fundamentalversuche von Kirchhoff und Bunsen zu wiederholen. Zu diesem Zwecke verschrieb ich mir die chromatische Wandtabelle von Lenoir in Wien, welche eine vergrößerte Copie der Originalabbildungen der Spectren der Kalium-, Natrium-, Lithium-, Baryum-, Strontium- und Calciumflammen enthält. (Poggendorff's Annalen waren mir leider nicht für längere Zeit zugänglich.) Der Beobachtungsapparat gegenüber dem Bunsen-Kirchhoff'schen fiel freilich sehr primitiv aus; er wurde aus einzelnen Stücken wie sie das physikalische Cabinet der Kantonschule in Chur mir darbot, zusammengesetzt.

In einen viereckigen geschwärzten Kasten, der an der einen breiten Seite mit einer Thür versehen war, setzte ich an der vordern schmalen Seite ein Blechrohr ein, um zwei Spalten, die zum Heliostaten gehörten, aufsen und innen anbringen zu können. In den Kasten wurde ein Stativ mit einem runden Tischchen, das einen Linien hohen Rand



besafs, und darauf das Schwefelkohlenstoffprisma von  $66^\circ$  brechendem Winkel gestellt. Die Grundfläche des Prismas bildete zum Rande des Tischchens ein eingeschriebenes Dreieck, jenes konnte somit ohne Verschiebung um seine Verticalaxe gedreht und in das Minimum der Ablenkung gestellt werden. Vor die Spaltöffnung aufsen wurde ebenfalls auf ein verschiebbares Stativ die Bunsen'sche Gaslampe mit konischem Schornstein gestellt. Hierauf wurde eine Partie Platindraht von 0,2 bis 0,3 Millimeter Dicke in zwei Zoll lange Stücke zerschnitten und diese mit dem einen Ende in dünne Glasröhren von beiläufig 3 bis 4 Zoll Länge eingeschmolzen, welche alsdann in den hohlen Arm eines Messingstatives geschoben wurden, das von dem Bunsen'schen nur insofern abwich, als ich einen langen Draht in Form eines Schwengels anbringen liefs, welches mir gestattete die Perle selber in die Flamme zu führen, während ich schon in das Prisma hinein sah. Da das Cabinet keine zu dem Apparate passende Fernröhre besafs, so beschränkte ich mich auf die Beobachtung mit freiem Auge, das ich hart an die eine Prismenfläche heranbrachte, in welcher Weise ich das continuirliche, aber schwache Spectrum der Flamme in seiner ganzen Ausdehnung übersehen konnte. Der Schlitz hatte eine Länge von zwei Zoll und liefs sich mit Hülfe einer Mikrometerschraube bis zur feinsten Haarspalte mit stets parallel bleibenden Rändern verengern.

In solcher Weise übersah ich daher ziemlich den ganzen Flammenkegel und meine Spectren waren mehr hoch als breit. Später habe ich an der Aufsenseite des Kastens, eine zweite verschiebbare Spalte vorgesteckt, jedoch so, dafs sie mit der innern einen rechten Winkel bildete. Je nachdem man nun die äufsere Spalte (gewöhnliche Schiebervorrichtung) erweiterte oder verengerte, konnte man dem Spectrum jede beliebige Ausdehnung geben.

Die Oesen der Platindrähte, von denen einige breit gehämmert und nach Bunsen'scher Vorschrift getheilt wurden, lassen sich nach öfterem Gebrauch schwer reinigen, namentlich von Calcium, Strontium und Baryum; ich habe

sie d  
abges  
Se  
fachb  
tion s  
U  
zeugt,  
prakti  
Eintra  
und l  
ryums  
lich s  
ner U  
die g  
selbst  
lich w  
dicht  
wie b  
halber  
Ich  
nabli  
aufer  
genau  
stanz  
ryums  
sehen  
immer  
d. h. e  
verbin  
habe  
gert u  
Linien  
Di  
konnt  
men.  
Ne  
die s

sie daher jedesmal, wo neue Substanzen geprüft wurden, abgeschnitten, da der Verlust unerheblich war.

Soviel über meinen Beobachtungsapparat, dessen Einfachheit man mir verzeihen wird, indem die bisherige Station sehr wenige mechanische Hilfsmittel darbietet.

Uebrigens habe ich mich durch den Augenschein überzeugt, daß das Beobachten mit freiem Auge, hinsichtlich der praktischen Verwendung, der Spectralmethode keinen großen Eintrag thut; wenigstens habe ich die feinsten von Kirchhoff und Bunsen angegebenen Linien im Strontium- und Baryumspectrum bei gehöriger Verengerung der Spalte deutlich sehen können, wie es mir denn auch nebenbei zu meiner Ueberraschung durchaus keine Schwierigkeit machte, die gewöhnlich verzeichneten Fraunhofer'schen Linien, selbst im diffusiven Tageslichte, mit freiem Auge sehr deutlich wahrzunehmen. Nur da, wo die Spectren mit Linien dicht gedrängt erscheinen und nur einen Moment aufblitzen, wie beim »Kupfer«, wäre es wünschenswerth, der Klarheit halber durch ein Fernrohr zu beobachten.

Ich habe nun vor Allem zu constatiren, daß die Originalabbildungen der Spectren der alkalischen Metalle mit aufsergewöhnlicher Treue aufgenommen sind. Auch ohne genaue Messung erkennt man sofort die relativ richtige Distanz der hellen Linien. Einzig die grünen Linien im Baryumspectrum habe ich eigentlich nie genau in dem Habitus sehen können, wie sie abgebildet sind. Deutlich sah ich immer nur vier Linien. Durch die Superpositions-methode, d. h. dadurch, daß ich zwei Perlen verschiedener Metallverbindungen in die gleiche Flamme übereinander brachte, habe ich die einzelnen Spectren hart über einander gelagert und mich so von den verschiedenen Coincidenzen der Linien von einerlei Farbe überzeugt.

Die Verification auf die Fraunhofer'schen Linien konnte ich mit meinem Apparate natürlich nicht vornehmen.

Nachdem ich in den verschiedenartigsten Variationen die spectralanalytischen Versuche durchexperimentirt, und

mir eigene Abbildungen der Spectren gemacht hatte, drängte sich mir die sehr nahe liegende Frage auf: Wie verhalten sich denn die übrigen Metalle und ihre Verbindungen gegenüber dieser Prüfungsmethode?

Wenn ich nun auch die Ueberzeugung hatte, daß die genialen Urheber selbst schon weiter geschritten seyen und vielleicht die nächsten Hefte von Poggendorff's Annalen uns neue Entdeckungen bringen würden, so glaubte ich doch mir erlauben zu dürfen, da nun die Gelegenheit vorhanden war, selbstständig zu neuen Versuchen überzugehen. Der üblichen Rangordnung der Metalle folgend, griff ich daher in die Präparatensammlung nach dem *Magnesium*-, *Aluminium*-, *Eisen*-, *Mangan*-, *Kobalt*-, *Nickel*-, *Chrom*-, *Uran*- und *Zinkverbindungen* so wie sie sich mir gerade darboten und brachtè voll gespannter Erwartung die Perlen in die Flamme. Da sich durchaus nichts auffallend Neues zeigte, glaubte ich die Hitze sey zu gering und stellte daher die *Bunsen'sche Glasbläserlampe* vor den Spalt. Was war das Resultat dieser Anstrengungen? Im Ganzen nichts als die traurige Ueberzeugung, daß eigentlich keins der Präparate auf chemische Reinheit Anspruch machen konnte. Sämmtliche Magnesiapräparate waren kalkhaltig, insofern sich die Linien  $\text{Ca}\alpha$  und  $\beta$  mitunter bis zu einer Minute und länger anhaltend zeigten. Das unvermeidliche Natrium machte sich überall durch die glänzend gelbe Linie bemerklich. Sonst zeigte sich in der Regel nichts anderes als ein durch Schwarz gedämpftes continuirliches Spectrum.

Wenn ich die Metalle in regulinischer Form besaß, wie Aluminium, Eisen, Zink, so habe ich sie auch als solche für sich oder mit Salzsäure befeuchtet, in die Flamme gebracht, jedoch ohne bessern Erfolg als bei der Anwendung der Chlorete, Bromete, Nitrate, Sulfate, Phosphate, Carbonate, Oxyde etc. Mögen nun auch anderweitige Untersuchungen mit genauern Apparaten einzelne Linien nachweisen: soviel scheint mir klar, daß die Spectralmethode bei dieser Gruppe von Metallen viel zu unempfindlich ist und

daher in ihrer gegenwärtigen Gestalt keine Bedeutung gewinnen kann.

Bei der Cuproidgruppe hoffte ich mehr Glück zu haben, mußte doch die intensiv blaue und grüne Kupferflamme durch das Prisma betrachtet sicherlich einen andern Aspect gewähren als die bloße Gasflamme. Meine Erwartung wurde diesmal nicht getäuscht. Als ich eine Perle von Chlorkupfer in die Flamme rückte, sah ich ein prachtvolles, gestriemtes Spectrum mit Linien in allen Farbentönen aufleuchten.

Ich schritt sofort zur genaueren Fixirung und Untersuchung der bedingenden Umstände; da ich aber später auf den Einfall kam, sämtliche grünfärbende Substanzen zu prüfen und bei dieser Gelegenheit weit einfachere Spectren auffand, so will ich, nach einer anderweitigen Erörterung, mit diesen den Anfang machen.

#### 1. Spectrum des innern Flammenkegels.

Es ist zunächst zu erwähnen, daß die Bunsen'sche Gasflamme unter gewissen Bedingungen ganz für sich ein discontinuirliches Spectrum giebt, bestehend aus vier markigen Linien: einer *fahlgrünen*, *lichtgrünen*, *blauen* und einer *violetten*. Die dunklen Zwischenräume werden von Fahlgrün nach Violett zu immer breiter, doch nicht viel. Aufgefallen ist mir, daß die Linien mit breiter Basis anfangen und nach oben sich zuspitzen, keineswegs aber die ganze Breite des Flammenspectrums durchsetzen, sondern in einer gewissen gleichen Höhe wie abgeschnitten erscheinen. Ich erkannte sofort, daß dieses Spectrum mit dem innern hellblaugrünen Flammenkegel zusammenhängen müsse. Besondere Versuche mit von der Flamme abgehobenem Schornstein, successiver Abblendung der Flamme von oben nach unten und von unten nach oben, Veränderung der Flammenhöhe etc. bewiesen dies vollständig; das obere Niveau der Linie folgte regelmäsig der Spitze des innern Flammenkegels, während das untere mit der im Spectrum dunkel erscheinenden Mündung der Gaslampe zusammen-

hing. Es ist hier zu bemerken, daß ich dieses Spectrum, das ich *Spectrum des innern Flammenkegels* nennen will, erst gewahr wurde, als ich zufällig die Lampe, mit der ich gewöhnlich experimentirte, mit einer andern, die einen rauschenden innern Kegel machte, vertauschte. Ich glaubte anfangs, die vier Linien könnten von metallischen Theilen der Lampe herrühren, allein Versuche mit einer Specksteingaslampe, mit Weingeist- und Oellampen, sowie mit Kerzenflammen überzeugten mich, daß die vier Linien immer da auftreten, wo sich in einer Flamme ein innerer scharf begränzter blauer Kegel zeigt. Die gewöhnliche Wasserstofflamme z. B. liefs keine Linien erkennen, sondern nur ein schwaches continuirliches Spectrum, später als die Glasspitze sich zu erhitzen anfang, trat die Natriumlinie auf.

Die leuchtenden Flammen zeigten zwei Spectren; das des innern blauen Kegels erscheint wie mit einem durchscheinenden Vorhang, der in den Regenbogenfarben leuchtet, überhängt; läßt man aber mit einem Löthrohr in die Flamme blasen, so rollt der Vorhang auf und die vier Linien erscheinen klar. Das continuirliche Spectrum gehört somit dem leuchtenden Mantel an.

Was das Ansehen der einzelnen Linien betrifft, so ist zu bemerken, daß die gelbgrüne nur nach Gelb hin einigermaßen scharf begränzt erscheint, während sie nach lichtgrün hin etwas verwaschen sich darbietet. Am schärfsten erscheint die lichtgrüne, auch Blau ist ziemlich scharf, weniger Violett. Es ist wohl kaum noch zu bemerken, daß in den Spectren der leuchtenden Flammen die gelbe Linie  $\text{Na}\alpha$  sich regelmäfsig findet, nebst einer gewissen Ausdehnung der rothen Partie. Selbst eine schwach leuchtende, sonst ein vollkommen continuirliches Spectrum gebende Bunsen'sche Gasflamme habe ich nur selten ohne Natriumlinie gesehen. Nur wenn ich die Luft vor ihrem Zutritt zum Brenner durch feuchte Schwämmchen filtrirte und sie so von ihrem Staubgehalte befreite, konnte das Spectrum für längere Zeit von  $\text{Na}\alpha$  befreit werden.

Um die Lage der hellen Linien zu verificiren, bediene

ich mich, wegen Mangels der nöthigen Einrichtung zur absoluten Orientirung, wie schon S. 245 erwähnt, der Methode der Superposition. Es ergab sich Folgendes: Die fahlgrüne Linie coincidirt mit  $Ba\gamma$ , so indessen, daß der schärfere Theil nach auferhalb gegen  $Na\alpha$  hin zu liegen kommt, die lichtgrüne mit  $Ba\beta$ , die blaue liegt etwas seitlich von  $Sr\delta$  nach Grün hin, die violette trifft mit der violetten des Kupferspectrums zusammen.  $Ka\alpha$  oder die violette von Kalium steht etwa noch soviel nach links ab, als die Distanz beträgt zwischen 3 und 4 des Flammenkegels. Daraus würde hervorgehen, daß No. 4 in die Nachbarschaft der Fraunhofer'schen Linie G fällt und also dem Indigblauen angehört. Ich muß gestehen, daß ich immer schwankend gewesen bin, ob ich sie als dunkelblau oder violett erklären sollte').

## II. Die Spectren der grünen Flammen.

Unter diesem Titel sollen vorläufig nur diejenigen Flammen verstanden seyn, welche durch *Mineralsubstanzen* grün gefärbt erscheinen; die Flammen von Chloräthyl u. dergl. sind daher ausgeschlossen.

Aus der Löthrohrchemie weiß man, daß es sechs Körper sind, welche den Flammen eine grüne Färbung ertheilen, nämlich: *Phosphorsäure, tellurige Säure, Borsäure; Barytsalze, Molybdänsäure und Kupfersalze*. Zu diesen Verbindungen kann ich noch eine siebente hinzufügen: das *Manganchlorür*.

- 1) So eben ersehe ich aus dem Jahresbericht der Chemie für 1859, daß W. Swan Mittheilungen über die Spectra der mit Luft gemengten Kohlenwasserstofflammern gemacht hat. Leider ist mir die Originalarbeit momentan unzugänglich und ich muß daher gewärtigen, inwiefern unsere Beobachtungen coincidiren. Ebenso waren mir die schönen Versuche Plücker's über die Spectren des elektrischen Lichtes in gewissen Gasen, sowie die von künstlichen Geißler'schen Röhren, zur Zeit meiner Untersuchungen gänzlich unbekannt. Dagegen habe ich seither Swan's schöne Arbeit in diesen Annalen 1857 Bd. 100, S. 306 ff. gelesen und freue mich der Uebereinstimmung der Resultate trotzdem mein Apparat dem von Swan an Vollkommenheit außerordentlich nachstand.

## 1) Phosphorsäure.

Eine concentrirte Auflösung von  $\text{PO}_3$  auf dem Oehr eines Platindrahtes in die Flamme gebracht, färbte selbige *grünlichgelb*. Das Spectrum war continuirlich ohne alle Linien, nur daß sich ein breiter Streifen Roth und Grün hart zusammendrängten und nach außen concave Ränder zeigten.

## 2) Tellurige Säure oder metallisches Tellur.

Sie färbten die Flamme *blaugrün* und gaben ein brillantes, aber total continuirliches Spectrum. Der Analogie halber wurde derselbe Versuch mit *Selen* und *seleniger* Säure angestellt, der Erfolg war ganz derselbe. Die Flamme selbst ist *blau*.

## 3) Molybdänsäure.

Metallisches Molybdän an den Aufsenrand des heißesten Theils der Flamme gebracht, färbte dieselbe stark *zeisiggrün*, das Spectrum bot aber ganz den Anblick desjenigen der Phosphorsäure.

## 4) Barytverbindungen.

Sie färben die Flamme bekanntlich *fahlgrün* und geben das zuerst von Bunsen und Kirchhoff aufs Genaueste beschriebene und abgebildete Spectrum. Die grünen Linien erschienen mir immer gegenüber denen anderer Spectren von einer merkwürdigen Feinheit. Gewöhnlich sah ich nur vier, wovon die zwei mittlern einander näher standen als die erste und zweite — und dritte und vierte.

## 5) Borsäure.

Mit Salzsäure aus Borax abgeschiedene, zwischen Filtrirpapier ausgepreßte und drei Mal aus Weingeist umkrySTALLisirte Borsäure enthielt zwar immer noch etwas anhängendes Natron, gab aber beim ersten Hineinbringen in die Flamme eine rein *smaragdgrüne* intensive Färbung und im Spectrum außer der nur noch schwachen Natriumlinie vier



kräftige, gleich breite und in gleichen Abständen befindliche helle Linien, wovon drei auf den grünen und eine auf den blauen Farbenton fielen. No. 1 nächst Gelb war *gelbgrün* glänzend, und coincidirte mit der ersten grünen bei Baryum. No. 2 war *lichtgrün* glänzend, Coincidenz mit *Baß*, der vierten grünen bei Baryum. No. 3 war schon ziemlich schwach *blaugrün*, und fällt mit der blauen Baryumlinie nahezu oder ganz zusammen, während No. 4, sehr schwach, die blaue Strontiumlinie  $Sr\delta$  nicht ganz erreicht.

Die Lichtstärke von  $Bo_1$  und  $Bo_2$  gegenüber  $Bo_3$  und namentlich  $Bo_4$  ist sehr überwiegend, so dafs man oft nur die beiden ersten Linien sehr deutlich sieht. Dagegen ist die Reaction insofern scharf, als  $Bo_1$  und  $Bo_2$  plötzlich verschwinden, sowie die Letzte Spur Borsäure verflogen ist.

Die Gegenwart von Natron schadet der Deutlichkeit der zwei ersten Linien nicht im Mindesten. Eine Boraxperle in die Flamme gebracht, giebt augenblicklich  $Bo_1$  und  $Bo_2$ ; ja man kann die Perle sogar noch mit einem bedeutenden Quantum Soda ohne allen Nachtheil sättigen.

So braucht man den dichten *Boracit* von *Stassfurth* (Borsaure Magnesia) nur in die Flamme zu bringen, um sofort neben  $Na\alpha$  das schönste Borsäurespectrum aufleuchten zu sehen.

Die Gegenwart anderer Basen, wie Kali, Lithium, Baryt, Strontian, Kalk und selbst diejenige der schweren Metalle, wie Blei, beeinträchtigt das Erscheinen der Borsäurelinien keineswegs, falls die Borsäure nicht zu spurweise sich findet und man der Probe ein Tröpfchen concentrirte Schwefelsäure beifügt.

Was die Empfindlichkeit betrifft, so ist sie jedenfalls weit gröfser als diejenige der gewöhnlichen Prüfung mit Weingeist. Um die Empfindlichkeitsgränzen zu bestimmen, wurde 1 Grm. gewöhnlicher krystallisirter Borax in  $\frac{1}{4}$  Litre Wasser gelöst und davon ein Tropfen ins Oehr des Platindrahtes genommen. Die Reaction war sehr deutlich. Indem ich die Lösung immer mehr verdünnte bis zu  $\frac{1}{4}$  Litre, fand ich hier schon die Gränze einer deutlichen Beobachtung,

Ein Tropfen dieser Lösung zeigt rasch aufleuchtend und verschwindend  $Bo_1$  und  $Bo_2$ . Nun enthält der Borax bekanntlich 16,35 Proc. Borsäure. In 500 Ccm. waren somit enthalten 163,5 Mgr. Borsäure. Nach einem besonderen Versuche betragen circa 275 Tropfen 1 Ccm. Lösung und da in 1 Ccm. derselben 0,327 Mgr. Borsäure enthalten sind, so geht hieraus hervor, daß mittelst der Spectralmethode noch  $\frac{0,327}{275}$  d. i. 0,00119 oder  $\frac{12}{10000}$  Mgr. Borsäure erkannt werden können.

Dieses stimmt mit der Empfindlichkeit der spectralanalytischen Baryum- und Kaliumprobe überein, welche  $= \frac{1}{1000}$  für die chloresäuren Salze. Dampft man nun 1 Ccm. obiger Boraxlösung zur Trockne ein, so bleibt ein Hauch eines festen Rückstandes, und nimmt man diesen mit einem Tropfen Wasser auf, setzt Alkohol und concentrirte Schwefelsäure zu, erwärmt und zündet an, so erkennt man im Dunkeln allerdings noch während einiger Sekunden einen schwachen grünen Saum an der blauen Flamme; die Reaction könnte aber in dem Falle, wo die Anwesenheit der Borsäure ungewiß ist, zu keinem sichern Schlusse berechtigen, jedenfalls ist ihre Empfindlichkeit unter  $\frac{1}{100}$  Mgr. zu setzen. Wenn man aber 1 Ccm. erwähnter Boraxlösung eindampft und in 20 Tropfen Wasser löst, so giebt jeder Tropfen eine Reaction, die im Spectrum  $Bo_1$ ,  $Bo_2$  und  $Bo_3$  hell leuchtend zeigt.  $Bo_3$  verschwand nach drei Sekunden.  $Bo_1$  nach 13 bis 14 und  $Bo_2$  erst nach 17.

Die rein chemische Borsäureprobe dagegen mit Curcumapapier, meines Wissens von H. Rose zuerst angegeben, besitzt eine ungeahnete Empfindlichkeit, wie folgender Versuch lehrt:

$\frac{2}{100}$  Ccm. der Boraxlösung  $\equiv$  0,00327 Mgr. Borsäure wurde auf ein Uhrglas gebracht, schwach mit Salzsäure angesäuert und von einem Curcumastreifen vollständig aufgesaugen gelassen, so daß von demselben nichts abtropfte. Er

wurde auf dem Uhrglas bei 100° getrocknet. Die Ränder begannen sich röthlich zu färben und endlich erschien der ganze Streifen gleichmäfsig und schön *rosenroth*. Die Ausmessung des Streifens ergab für seinen Flächeninhalt (1 Cm. br., 9 Cm. lg.) 900 □ Mm. Da nun aber die Fläche eines □ Mm. vollkommen hinreicht, um die Erscheinung wahrzunehmen, so folgt daraus, dafs  $\frac{0,00327}{900} \Rightarrow 0,0000036$  Mgr. genügend sind, eine Reaction hervorzurufen, welche einen sichern Schlufs auf Borsäure gestattet. Um dies Resultat weiter zu verfolgen, verdünnte ich  $\frac{1}{100}$  Ccm. Boraxlösung mit  $\frac{10}{100}$  Ccm. Wasser und nahm von dieser Lösung  $\frac{1}{100}$  Ccm. auf ein Uhrglas, versetzte mit einer Spur Salzsäure, legte 1 □ Centimeter Curcumapapier hinein und verdampfte zur Trockne. Auch diesmal trat noch eine sehr deutliche und gleichmäfsige Rosafarbe ein, die auf Zusatz von etwas Kali sich in schwarzblau änderte.

In  $\frac{1}{100}$  Ccm. der Probenflüssigkeit waren aufgelöst 0,0003 Mgrm. Borsäure; diese färbten 100 □ Mm. noch deutlich roth; welche Röthung noch an 1 □ Mm. zu erkennen gewesen wäre; somit genügen wiederum nur 0,000003 Mgr. der Reaction wie oben. Der Intensität der Färbung nach läfst sich schliessen, dafs man nicht zu weit geht, wenn man die Gränzen der Empfindlichkeit der Borsäurereaction auf ein 10 Milliontel Milligramm. schätzt. Dies ist eine Empfindlichkeit, welche diejenige der spectralen Natriumlinie übertrifft.

Da nun allerdings auch die Alkalien und andere Stoffe Farbenveränderungen der Curcuma bewirken, die ins Rothe spielen, die zwar ein geübter Beobachter sofort unterscheidet, so wird man nichts Ueberflüssiges vornehmen, wenn man auch die Spectralmethode zu Rathe zieht. Diese Lichtlinien sind vermöge ihrer Stellung und ihres eigenthümlichen Aspectes etwas Untrügliches.

Da borsaures Bleioxyd in essigsurem Natron so zu sa-

gen vollkommen unlöslich ist, so habe ich auch versucht, die Borsäure aus einer Flüssigkeit dadurch zu gewinnen, daß selbige mit Bleizuckerlösung und essigsauerm Natron versetzt wurde. Der abfiltrirte und mit essigsauerm Natron gewaschene Niederschlag wurde dann auf ein Platinöhr genommen und mit einem Tropfen Schwefelsäure befeuchtet in die Flamme gebracht. Ich habe in solcher Weise aus 1 Ccm. der oft erwähnten Boraxlösung einen Niederschlag erhalten, von dem der funfzigste Theil etwa noch nicht hinreichte, die Borsäurelinie mit Schärfe zu zeigen. Es blitzte ein vielstriemiges Spectrum auf mit Linien im Orange, Gelb, Grün und Blau, fast analog dem Baryumspectrum, vielleicht aber dem Blei eigenthümlich. Es dauerte nur einige Sekunden. Dieser Umstand muß weiter verfolgt werden.

Die Anwendbarkeit der spectralen Borsäureproben für Mineralien beweisen folgende Versuche.

*Axinit aus dem bündnerischen Oberland, in Granit.* Fein gepulvert, etwa 1 Milligr., mit ebensoviel Flußspathpulver gemengt und mit einem Tröpfchen Schwefelsäure befeuchtet auf dem Ohr eines Platindrahtes in die Flamme gebracht, während man schon ins Prisma sah, gab sehr schön  $\text{Bo}_1$  und  $\text{Bo}_2$  während einiger Sekunden. Später  $\text{Ca}\alpha$  und  $\text{Ca}\beta$ .

*Schwarzer Turmalin von Gnadenfrei in Schlesien aus Granit, und vom Gotthard in Talkglimmerschiefer* gaben ebenfalls sehr deutlich  $\text{Bo}_1$  und  $\text{Bo}_2$ . Mehrmals blitzte die grüne  $\text{Ba}\alpha$  zwischen den beiden Borlinien auf. Sie war dem Flußspath zu verdanken. Besser ist es daher statt desselben reines Fluorammonium anzuwenden.

Es wurde hierauf auch das *Muttergestein des Gottharder Schörls* ebenso untersucht. Sofort zeigten sich die kräftigen Linien  $\text{Bo}_1$  und  $\text{Bo}_2$ , die aber bald verschwanden, um ein anhaltendes Lithium-, Kalium- und Calciumspectrum zu geben. Die Menge des Lithiums scheint so nach im Gottharder Talkschiefer relativ nicht unerheblich zu seyn.

Auf dieselbe Weise reagirte der Gottharder *Cyanit*,  $\text{Bo}_2$  und  $\text{Bo}_3$  sehr glänzend, und sein Muttergestein der gelbliche Talkglimmerschiefer.

Da der Axinit nach Rammelsberg bis zu 6 Proc. Borsäure enthalten kann, und vorausgesetzt, der meinige hätte sich auf diesem Maximum befunden, so wäre die Empfindlichkeit der Probe noch  $\frac{6}{100}$  Milligr. gewesen. Die Turner'sche Löthrohrprobe giebt unter gleichen Umständen wohl auch noch eine grüne Säumung der Flamme, die aber durch die Natriumreaction schnell verdeckt wird, und außerdem kann man nicht wissen, ob sie nicht von Baryum, Kupfer u. s. w. herrühre.

1 Ccm. meiner Boraxlösung, zur Hälfte eingedampft, davon 1 Tropfen auf dem Platindraht mit Flußspath und Schwefelsäure versetzt, gab sehr schön die drei ersten Borsäure-Linien.

Da mir augenblicklich die Zeit mangelt, auf Untersuchung einer größern Reihe von Mineralien in dieser Richtung einzutreten, so schliesse ich mit diesen wenigen Andeutungen einstweilen ab und gehe über zum Kupfer.

Soviel sey noch erwähnt, daß die mit der Borsäure sonst gewöhnlich zusammengestellte *Kieselsäure* wegen ihrer Schwerflüchtigkeit nicht geeignet erscheint durch die Spectralmethode erkannt zu werden. Eine sehr reine staubige Kieselsäure gab sowohl für sich als mit Salzsäure oder Flußsäure befeuchtet nichts als, ganz schwach auf schwarzem Grunde, die einsame Natriumlinie.

#### 6) a. Kupfer.

Jedermann weiß, das kupferne Gegenstände, wenn sie von einer Flamme bestrichen werden, dieselbe oft sehr intensiv smaragdgrün färben. Dieß thun auch alle Kupfersalze mit Oxydul oder Oxyd zur Basis; die Verbindungen des Kupfers aber mit den Chloriden (Chlor, Brom, Iod) geben eine schön azurblaue Flamme, an deren Rand nach aufsen oft noch purpurrothe Streifen auftreten, während

sie nach innen zu mehr und mehr smaragdgrün wird, und schliesslich ganz diese Färbung annimmt. Beim Iodkupfer ist das Azur am wenigsten hervortretend und es ist sogar wahrscheinlich, dass dasselbe einem Gehalt der Iodwasserstoffsäure oder des Iodes an Chlor zu verdanken war.

Bringt man auf einen Platindraht etwas krystallisirtes Kupferchlorid und führt denselben in die Flamme während man gleichzeitig ins Prisma sieht, so wird man von einem ausserordentlich glanzvollen Spectrum überrascht, wie ich schon oben angedeutet habe. Leider ist die Erscheinung von so kurzer Dauer, dass es unmöglich wird, alle Linien gleichzeitig zu fixiren. Ganz dasselbe ist bei Bromkupfer der Fall. Kupfervitriol, salpetersaures Kupferoxyd und andere Sauerstoffsalze geben die Erscheinung etwas andauernder, doch nicht so glänzend im blauen Theil; nichts desto weniger sind die Linien in Blau auch vorhanden, obschon die Flamme rein smaragdgrün ist. Schwefelsaures Kupferoxydammoniak giebt für sich eine grüne Flamme und mit chlorsaurem Kali verpufft eine blaue. Während des Abbrennens des Gemenges ist das Spectrum blendend und man kann seine Linien zählen.

Um indessen über Zahl und Lage der Linien möglichst ins Reine zu kommen, habe ich ein einfacheres Mittel vorgezogen, das ein Spectrum von der Dauer mehrerer Minuten giebt.

Ein Stück feines Messingdrahtnetz (Kupferdrahtnetz stand mir nicht zu Gebote) wurde um einen ziemlich dicken Kupferdraht spiralartig umgewunden, sodann in Salzsäure getaucht und über die Bunsen'sche Lampe geschoben. Es erschien eine intensive Kupferflamme, ausgebreitet blau mit purpurrothem und grünem Saum, später mehr und mehr grün werdend.

Das Spectrum dieser Flamme war äusserst brillant. Während im Allgemeinen Linie an Linie sich drängte, mussten einem jedoch sofort zwei breitere dunkle Zwischenräume in die Augen springen, wovon der eine zwischen Gelb und Grün mit einem braungelben, der andere in Blau mit einem

tiefbl  
zelne  
fortse  
kein  
wähn

C  
Stelle  
schwe  
Nach  
die z

O  
G  
Stelle  
hören  
E  
doch  
schein

G  
dafs  
getren  
Flamm

L  
grün  
men.  
zweit  
menk

Bl  
Zwisc  
mitun  
weiler  
genan  
Barye

Io  
Linie  
durch  
vielle

In  
Pog

tiefblauen Lichte übergossen war. Es sollen nun die einzelnen Linien nach den Farbentönen von Roth nach Blau fortschreitend beschrieben werden. (Da Chlorzink für sich kein discontinuirliches Spectrum giebt, so ist das eben erwähnte als lediglich dem Kupfer angehörend zu betrachten.)

*Carminroth.* Zwei Linien, die äußerste haarfein an der Stelle von *Lia*, die zweite ziemlich breit aber etwas verschwommen mit einer feinen Strontiumlinie zusammenfallend. Nach einem dunkeln Zwischenraum kaum halb so breit als die zweite roth folgt:

*Orange.* Zwei Linien an der Stelle von *Sra* und *Caα*.

*Gelb.* Eine Linie bald mehr oder weniger breit an der Stelle von *Nαα* und daher wohl nur dem Natrium angehörend.

Es folgt jetzt ein breiter *Zwischenraum blasgelb*, jedoch mit *braun* überschattet, sehr constant und wie es scheint entschieden charakteristisch für Kupfer.

*Gelbgrün.* Zwei breite Linien, jedoch so verschwommen, daß man sie nur schwierig und bei haarfeiner Spalte als getrennt erkennt. Die erste coïncidirt mit *Bαγ* oder 1 im Flammenspectrum.

*Lichtgrün* (Nüance des Schweinfurtergrün) vom Gelbgrün kaum getrennt; zwei Linien wie vorige, verschwommen. Gewöhnlich nur als ein Streifen erkennbar. Die zweite fällt mit *Bαβ*, oder 2 im Spectrum des innern Flammenkegels, auch mit *Bo<sub>2</sub>* zum Theil zusammen.

*Blaugrün.* Zwei bis drei Linien durch schmale dunkle Zwischenräume von einander getrennt. Die erste erscheint mitunter dem Auge mehr grasgrün, während die dritte bisweilen, je nach der Intensität des Spectrums, mehr hellblau genannt werden kann. Die dritte coïncidirte mit Blau von Baryum oder *Bo<sub>3</sub>*.

Ich muß gestehen, daß mir die Nüance dieser grünen Linien nicht immer gleich erschienen ist, das Auge wird durch den Lichtglanz leicht überreizt und ein Anderer mag vielleicht anders sehen.

Im Allgemeinen sieht man nach dem braungelben Zwischenraum  
Poggendorff's Annal. Bd. CXV.



schenraum einen breiten gelbgrünen Streifen, hart an diesem einen mehr ausgesprochen grünen. Da, wo diese beiden aneinander stoßen, haben die Linien etwas Rundung, während die erste Gelbgrün und die zweite Lichtgrün mehr flach sich darbieten. Die Linien in Blaugrün erscheinen ebenfalls wie runde Stäbe.

**Blau.** Nächst der dritten hellblaugrünen eine wenig entwickelte dunklere Blau.

Nunmehr folgt der breite dunkelblaue Zwischenraum der etwas Translucides an sich hat. Ich will ihn das »Cyanblau« nennen. Seine Stellung ist eine solche, daß die blaue Strontiumlinie etwas jenseits seiner Mitte ihn durchschneidet. Dieser Zwischenraum hat zu seiner Gränze nach Violett hin eine etwas matte aber ziemlich breite rein blaue Linie, der, nur durch einen schmalen dunklen Streifen getrennt, zwei hellleuchtende gewölbte gleich breite Linien folgen.

**Violett.** Dieser Ton hat nur eine Linie aufzuweisen, die sich nach einem schmalen dunkeln Zwischenraum in gleicher Breite den drei blauen anschließt. Von hier an setzt sich das Violette gleichmäÙig aber schwach fort. Die Violette von Kalium würde man erst nach einem Zwischenraum von der Breite der vier letzten Linien zusammen wahrnehmen. Der Raum zwischen ihr und der violetten Cu ist dann ganz schwarz.

Recapituliren wir das Beobachtete, so haben wir:

2 Linien in Roth

2 „ „ Orange

(1 „ „ Gelb) Na.

Ein breiter braungelber Zwischenraum.

2 Linien in Gelbgrün

2 „ „ Lichtgrün

3 „ „ Blaugrün

Ein breiter blauer Zwischenraum mit einer unklaren Linie nächst Blaugrün.

3 Linien in Blau

1 „ „ Violett

Summe 16 helle Kupferlinien.

Zu dieser etwas abgeänderten Farbenvertheilung hat mich die Betrachtung des Spectrums durch ein blaues Kobaltglas geführt. Dasselbe liefs vier Farbentöne durch, wie ich mich leicht überzeugte, wenn ich dasselbe vor ein kleines Loch im Fensterladen stellte und alsdann den blauen Lichtstrahl mit einem horizontal vor's Auge gehaltenen Prisma auffing. Auf den Laden projecirten sich vier Kreise, der oberste ganz isolirt, carminroth, Licht von der Brechbarkeit  $K_{aa}$ , resp. A. Der zweite weit kleiner, gelbgrün und völlig isolirt. Der dritte im Durchschnitt mit dem blauen und violetten, blaugrün, groß, sich elliptisch erweiternd. Der violette ohne scharfe Gränze, divergirend und starke Irradiation zeigend. Dem entsprechend erschienen im Kupferspectrum alle rothen und gelben Töne ausgelöscht. Dasselbe begann erst mit einem schmalen Streifen Grüngelb; es war das Licht der ersten Gelbgrün, das an den braunen Zwischenraum gränzte. Das übrige Grün war gänzlich ausgelöscht bis an die zweite Blaugrün, von hier an bis an die Gränze des Violett alles sichtbar; aber der blaugrüne Ton ragte bis in den blauen Zwischenraum hinein.

Somit wäre das Kupferflammspectrum, soweit die Genauigkeit meines Apparates es zuliefs, fixirt<sup>1)</sup>. Man sieht die grünen Töne übertreffen die blauen und rothen um das Doppelte.

Fragt man jetzt nach der *Empfindlichkeit* und *praktischen* Brauchbarkeit dieser Reaction, so fällt das Urtheil auf den ersten Augenblick ungünstig aus.

Es kann nämlich eine Flamme durch Kupfer sehr intensiv smaragdgrün gefärbt seyn, und doch nimmt man im Spectrum keine Linien wahr, statt derselben nur mehr einen

1) Wenn ich von Coincidenzen der Kupferlinien mit denjenigen der Alkalien und alkalischen Erdenmetalle sprach, so hat diefs nur auf meinen, nicht zu Messungen geeigneten, Apparat und mein Auge Bezug, und ich beuge mich daher selbstverständlich der Ansprüche auf absolute Genauigkeit, die ich, so wünschenswerth sie mir auch erschien, mit meinen Mitteln schlechterdings nicht erreichen konnte.

verwaschenen breiten lichtgrünen Streifen und von Blau so zu sagen nichts.

Das müßte man allerdings wenig empfindlich nennen, wenn nicht der braungelbe Zwischenraum das Grün nie fehlend besäumte. Hieran ist das Kupfer jederzeit zu erkennen und jede noch so schwach durch Kupfer grünlich gefärbte Flamme zeigt ein von Braun gesäumtes Grün, das um so mehr auffällt wenn auch die Natriumlinie, die sich übrigens so zu sagen ungerufen herzudrängt, vorhanden ist.

Löst man 1 Grm. krystallisirten Kupfervitriol in 250 Ccm. Wasser, das mit Salzsäure oder Chlornatrium versetzt ist, nimmt davon einen Tropfen auf ein Platinöhr und bringt ihn in die Flamme, so hat man Anfangs eine lebhaft smaragdgrüne Färbung, die im Momente, wo der letzte Theil verdampft, lasurblau aufblitzt. Im Spectrum gehen entsprechende Erscheinungen vor sich. Anfangs ein lichtgrünes gestriemtes Feld mit dem braunen Zwischenraum nach Na $\alpha$ , zum Schluß blitzen die vier transcyanen Linien auf. Die ganze Erscheinung dauert aber nicht vier Sekunden. Wegen einer Spur am Platindraht hängen gebliebenen Kupfers bleibt die Flamme schwach grün gesäumt, erkennbar im Spectrum durch den braunbegrenzten lichtgrünen Streifen. Etwas Chlornatrium auf den Platindraht gebracht, macht das Grün des Kupfers in der Flamme verlöschen, aber ebenso auch das Braun im Spectrum, erst später, nachdem der größte Theil von NaCl verdampft war, erschien es mir wieder.

1 Grm. Kupfervitriol enthält 256 Mgr. Kupfer. Diese auf 250 Ccm. vertheilt, macht einen Gehalt von etwas mehr als 1 Mgr. Cu pro Ccm., somit in jedem Tropfen circa  $\frac{1}{285}$  Mgr.

Hieraus geht freilich hervor, daß die Kupferreaction zu den relativ unempfindlichsten gehört auf dem Gebiete der chemischen Spectralanalyse.

Um eine Vorstellung zu gewinnen von der Empfindlichkeit der gewöhnlichen rein chemischen Reactionen mit Ammoniak und Ferrocyankalium wurden folgende Versuche angestellt:

1) 1 Ccm. der Kupferlösung mit 1 Mgr. Kupfergehalt (noch hellblau gefärbt) wurde mit 1 Tropfen concentrirter Ammoniakflüssigkeit versetzt, wodurch die Farbe sich in's Tiefblaue änderte. In einer Mefsröhre von 7,8 Mm. Lumen und 21 Mm. Länge eines Ccm. Raumes wurde mit destillirtem Wasser bis zu 10 Ccm. verdünnt. Die Farbe war im Ganzen noch wohl erkennbar bläulich; über weißem Papier vertical betrachtet schön azur. Bis auf 2 Ccm. abgegossen bei verticaler Betrachtung nur noch schwach bläulich. Wieder auf 10 Ccm. verdünnt, somit nur noch 0,2 Mgr. Kupfer im Ganzen. Totalanblick: kaum mehr unterscheidbar gefärbt. Vertical: schwach bläulich. Noch einmal bis auf 2 Ccm. abgegossen. Vertical sehr schwach bläulich; successive bis auf 5 Ccm. verdünnt war bei dieser Verdünnung die Färbung bei verticaler Betrachtung so gering, daß ihr diagnostischer Werth  $\equiv 0$ . Säuerte man aber die Lösung an und fügte einen Tropfen Ferrocyankalium zu, so trat noch eine durch die ganze Flüssigkeit wohl erkennbare röthliche Färbung ein.

Hieraus ist zu entnehmen, daß die Boyle'sche Kupferprüfung mit Ammoniak ihre Gränze dann erreicht, wenn in 5 Ccm. Flüssigkeit sich nur noch 0,04 d. i.  $\frac{1}{25}$  Mgr. Kupfer befinden.

2) 9 Cc. einer Lösung von Kupfervitriol  $\equiv 0,1764$  Mgr. metallisches Kupfer gaben mit 0,2 Ccm. Ferrocyankaliumlösung noch eine deutlich röthlichbraune Färbung; auf 2 Ccm. abgegossen und wieder auf 10 Ccm. verdünnt: Gehalt 0,0353 Mgr. Ueber weißem Papier noch als blaß röthlich zu erkennen, dagegen morgenroth bei verticaler Durchsicht. Zum 2. Mal auf 2 Ccm. abgegossen, bei dieser Länge der Flüssigkeitssäule (41 Mm.) nur noch schwach blaßröthlich. Nochmals successive auf 10 Ccm. verdünnt. Hier die Gränze. Bei verticaler Betrachtung höchstens ein ungewisser gelblicher Schein. Ja schon bei 5 Ccm. möchte die praktische Gränze zu setzen seyn. In den letzten waren also 0,007 Mgr. Kupfer zurückgeblieben, die auf 5 Ccm.

vertheilt bei verticaler Anschauung eben noch zu erkennen waren. Die Empfindlichkeit dieser Probe steigt somit auf  $\frac{1}{143}$  Mgr., d. h. auf circa das Fünffache der Boyle'schen.

Aber beide Proben erreichen, wie man sieht, noch nicht die Empfindlichkeit der spectralen Prüfung.

Um die praktische Brauchbarkeit der spectralen Kupferprobe zu beweisen, mögen hier folgende Beispiele von Mineralprüfungen ihren Platz finden. Anbei ist noch zu bemerken, dass von der Substanz niemals mehr als höchstens 1 Mgr. mit etwas Salzsäure befeuchtet, auf den Platindraht genommen wurden.

*Allophan von Tinszen, Graubünden*, grünlichblau in's Weisse. Leicht aufblitzendes Kupferspectrum. Sehr deutlich erkennbar die vier transcyanen Linien. Später lange andauernd das braunbesäumte Grün.

*Kupferschiefer von Eisleben, schwarz*. Spectrum brillant während 5 bis 6 Sekunden. Färbt übrigens schon die Flamme so intensiv blau, roth und grün, dass der Kupfergehalt unverkennbar.

*Kalait auf Kieselschiefer von Steine bei Jordansmühl in Schlesien*. Blaugrün. Nur die Linien in Blau, dagegen keine in Grün, sondern bloß der breite Streifen mit dem braungelben Zwischenraum, dieser aber deutlich.

*Kieselkupfer von Dillenburg in Nassau*. Spangrün. Intensives und 5 bis 6 Sekunden andauerndes Kupferspectrum.

*Ehlit von Rheinbreitbach*. Nierenförmige strahlige Masse, schwarzgrün, in Quarz. Bis ins kleinste Detail ausgebildetes sehr brillantes Spectrum; 8 bis 10 Sekunden.

*Fahlerz aus Bünden*: Wie Ehlit.

*Selenblei von Tilkerode am Harz, rothbraun*.

Die transcyanen Linien deutlich, die im Grünen unklar. Dauer höchstens 2 Sekunden.

*Rothe Mergelschiefer mit spangrünen Flecken (Verucano)*. Anstehendes Gestein auf den Fruttbergen südlich

von Stachelberg. Nur der braungesäumte grüne Streif. Hier wurden etwa 2 Grm. des Schiefers mit concentrirter Schwefelsäure gekocht nahe zur Trockne verdampft, mit HCl. ausgelaugt, die Flüssigkeit auf den Draht genommen. Nebenbei zeigte sich bei dieser Probe noch die rothe Kalium- und die beiden Calciumlinien.

#### 6) b. Spectrum des elektrischen Inductionsfunken.

Nachdem ich das Spectrum der Kupferflamme soweit untersucht hatte, interessirte es mich zu wissen, ob das Licht des zwischen Kupferspitzen überspringenden elektrischen Funkens sich zu einem ähnlichen Spectrum aus einander lege.

Ich benutzte hierzu einen Poggendorff'schen Inductionsapparat aus der Werkstätte des Hrn. Stöhrer in Dresden. Die gewöhnlichen Funkenzieher wurden weggenommen und statt deren eine Vorrichtung eingesetzt, welche erlaubte beliebige Metalldrähte in verticaler Richtung über einander zu stellen und ihre Spitzen sich beliebig nähern zu lassen. Die genauere Beschreibung wird man mir erlassen, da sie unwesentlich ist und die Abänderung lediglich den Zweck hatte, den Funken vertical statt horizontal überspringen zu lassen.

Zwei Kupferdrähte circa  $1\frac{1}{2}$ " lang und 1 Mm. dick, fein zugespitzt wurden einander auf 3 Linien Schlagweite gegenübergestellt und der Apparat mit 6 Bunsen in Thätigkeit gesetzt, nachdem er so vor meinen Spectralapparat gestellt war, daß der Funke durch den Spalt gesehen werden konnte. Das Spectrum erschien entsprechend als ein schmales Band mit sehr scharf hervortretenden hellen Linien. Diese erschienen gewissermaßen auf einem continuirlichen wie transparenten Spectrum. Die ganze Erscheinung bot indess keineswegs den Anblick des Flammenspectrums. Es fehlte sowohl der eigenthümliche braune als blaue Zwischenraum und die Lage der Linien war vielfach eine an-

dere. Die Linien sind nicht genau verificirt. Ich konnte dieß mit meinem Apparate nicht bewerkstelligen; Flamme und Funke fielen nicht in dieselbe Ebene und deshalb machte sich eine Parallaxe geltend.

Eine approximative Verificirung habe ich übrigens so vorgenommen, daß die schornsteinlose Flamme zwischen Spalt und Funke gestellt wurde. Unter dem Funkenspectrum erschienen dann auch noch die vier Linien des innern Flammenkegels. Durch Färbung der Flamme mit verschiedenen Substanzen suchte ich die bezüglichen Coincidenzen zu constatiren. Im Ganzen zählte ich 12 durchsetzende Linien, eine Zahl anderer schien gleichsam nur durch leuchtende Punkte am obern und untern Rande des Spectrums angedeutet und wären vielleicht hervorgetreten durch Anwendung eines stärker wirkenden Apparates.

Das Roth schnitt an der Stelle von  $Li\alpha$  scharf ab, die Gränze des Violett war unbestimmt. Die Vertheilung der Linien auf die einzelnen Farbentöne war folgende:

| Farbentöne | No. und Aussehen der Linien | Stellung       |
|------------|-----------------------------|----------------|
| Roth       | —                           |                |
| Orange     | 1) Schwach                  |                |
| Gelb       | 2) Matt                     | $Na\alpha$     |
|            | 3) Intensiv glänzend        |                |
| Gelbgrün   | 4) Schwächer                | $Ba\gamma$     |
|            | 5) Undeutlich               |                |
| Lichtgrün  | 6) Ziemlich hell            | $Ba\beta$      |
|            | 7) Breit, sehr intensiv     |                |
| Blaugrün   | 8) Matt                     |                |
|            | 9) do.                      |                |
| Blau       | 10) Breit, intensiv         | $Sr\delta$     |
|            | 11) Verschwommen            | $Cu, \epsilon$ |
| Violett    | 12) do.                     |                |

Die Linie an der Stelle von  $Na\alpha$  wird durch den Glanz der nahen gelbgrünen so abgeschwächt, daß man geneigt ist, ihre Farbe für orange zu erklären, während man Gelbgrün für reines Grün nimmt.



Setzt man an die Stelle des einen Poldrahtes einen Platindraht ein, an dem sich etwas von einer Lithion- und Kaliperle befindet, so erscheinen im Funkenspectrum auch sehr deutlich  $Ka\alpha$  und  $Ka\beta$ , sowie  $Li\alpha$  und  $Li\beta$ . Die Lithiumlinie bildet dann den scharfen Schluss des Rothen, und nach einem breiten gänzlich schwarzen Zwischenraum folgt erst  $Ka\alpha$ . Mit sehr grossen Ruhmkorffs lassen sich vielleicht andere sehr schwerflüchtige Verbindungen in solcher Weise elektrolysiren und entsprechende Spectren erhalten.

Ohne auf die nähere Bedeutung dieser elektrischen Spectrallinien einzutreten, erwähne ich nur, dafs ich bei Einsetzung von Silber, Gold, Eisen, Zink oder Wismuthdrähten, als Funkenzieher, durchaus keine wesentliche Abänderung des Spectrums wahrnehmen konnte. Es waren immer wieder dieselben Linien zu erkennen. Einzig das Blei gab im äufsersten Violett coincidirend mit  $Ka\beta$  zu den übrigen noch eine breite sehr helle Linie, entsprechend der violetten Glorie, welche die negative Polspitze umgab.

Es ist bekannt, dafs Wheatstone, Foucault, Draper, Depretz und Masson<sup>1)</sup>, welche sich hauptsächlich mit der Analyse des elektrischen Lichtes beschäftigt haben, zu andern Resultaten gekommen sind und für jedes Metall eine grosse Anzahl besonderer Linien constatirt haben. So soll sich das Silber durch eine *«raie verte d'un éclat éblouissant»* auszeichnen; das Kupfer soll sehr viele Linien in Blau, Grün und Violett haben; Zink zeige ein auffallendes Apfelgrün; Gold, viele gelbe und violette Linien; Wismuth soll mit grünen Linien sehr reich ausgestattet seyn usw. — Vier Linien, je eine im Rothen, Orange, Gelben und Grünen, sollen allen elektrischen Spectren gemein seyn. Auch sey der Charakter ganz derselbe, werde der Funke durch eine Maschine, eine einfache voltaische Kette oder auf dem Wege der Induction erzeugt.

Es fällt mir natürlich nicht ein, in die übereinstimmenden Resultate so berühmter Forscher Mißtrauen zu setzen, doch kann ich auch nichts anderes constatiren, als was

1) Vergleiche J. Gavarret. *Traité de l'électricité* T. II, p. 525—535.

ich mit den von mir gebrauchten Apparaten selbst gesehen habe <sup>1)</sup>).

(Schluss im nächsten Heft.)

#### IV. Ueber die Diathermansie der Medien des Auges; von R. Franz.

Das Spectrum, das durch ein klares Prisma hervorgerufen ist, zeigt unserem Auge den größten Lichtglanz, also das Maximum der Lichtwirkung, im Gelb. Unsere thermometrischen Apparate weisen das Maximum des Effectes eines Spectrums nur in seltenen Fällen im Gelb nach, oft im Roth, oft auch jenseits des Roth, ja sie beweisen uns, daß die Sonnenwirkung unter günstigen Umständen erst aufhört in einer Entfernung vom Roth, welche den Abstand der äußersten chemisch wirkenden Strahlen bedeutend übertrifft. Wie läßt sich diese Erscheinung erklären bei der Annahme der durch so viele Versuche und durch die Zustimmung bedeutender Beobachter auf diesem Felde so wahrscheinlich gemachten Identitätstheorie für Licht und Wärme? Melloni suchte die Erscheinung der großen Lichtintensität im Gelb durch die Annahme zu begründen, daß die Netzhaut unseres Auges eine gelbliche Färbung habe, die im Alter erblasse, dann aber durch eine gelb-

- 1) Ich habe nachträglich auch von der schönen Arbeit Ångström's über die elektrischen Spectren\* (diese Ann. 1855 Bd. 94, S. 111) Einsicht bekommen und mich belehren können, daß das von mir gesehene Spectrum der Luft, respective dem Stickstoff zukam. Jene leuchtenden Punkte waren in der That die Linien der Metalle. Man wird finden, daß meine 12 Linien so zu sagen genau mit den 12 wichtigsten Linien Ångström's übereinstimmen. Die Position der letztern ist durch genaue Messung bestimmt. So muß ich denn schließen, daß mein Auge durch das häufige Beobachten eine außerordentliche Sicherheit im Bestimmen der Positionen erlangt hat.

liche  
Theil  
daß  
Lichte  
mehr  
oder

Di  
Reihe  
daß d  
lenlän  
Erregu  
den k  
er ein  
währe  
cylind  
Beoba  
nomet  
säule  
stellun  
linse  
tiger 2  
kung  
der un  
vanom  
linse,  
strahle

Br  
Weise  
von G  
dels S  
metern  
beide  
kung  
Im

- 1) Po  
2) Po  
3) Po

liche Färbung der Krystalllinse ersetzt werde<sup>1)</sup>). Der erste Theil dieser Annahme würde die Vermuthung ausdrücken, daß unsere Netzhaut für die Schwingungen des gelben Lichtes leichter erregbar wäre, gewissermaßen mit ihnen mehr harmoniere als mit den Schwingungen von größerer oder geringerer Wellenlänge.

Dieser Melloni'schen Hypothese stellte Brücke eine Reihe genauer Untersuchungen gegenüber. Er vermuthete, daß die Medien des Auges den Strahlen von großer Wellenlänge den Durchgang nicht gestatten, daß also auch eine Erregung der Netzhaut durch dieselben gar nicht stattfinden könne. Um diese Vermuthung zu bestätigen, benutzte er eine Argand'sche Lampe als leuchtende Wärmequelle, während dieselbe Lampe, mit einem schwarzen Eisenblechcylinder verdeckt, die dunkle Wärmequelle abgab. Die Beobachtung ergab bei 40 bis 50° Ablenkung der Galvanometernadeln während die helle Quelle direct die Thermosäule bestrahlte, nur 8 bis 9° Ablenkung bei Zwischenstellung der Cornea. Bei Zwischenstellung der Krystalllinse reducirte sich die Ablenkung auf 1½°. Bei gleichzeitiger Zwischenstellung beider Körper war eine Wärmewirkung gar nicht wahrzunehmen. Wurde der dunkle Cylinder um die Flamme der Lampe gestellt, so zeigte das Galvanometer gar keine Ablenkung, weder wenn die Krystalllinse, noch wenn die Cornea in den Weg der Wärmestrahlen eingeschaltet wurde.<sup>2)</sup>

Brücke hat später diese Versuche auf eine andere Weise wiederholt, indem er eine dioptrische Combination von Glaskörper, Linse und Cornea in den Gang eines Bündels Sonnenstrahlen stellte. Die Ablenkung der Galvanometernadeln betrug in diesem Fall 26 bis 30°, waren aber beide Seiten der Combination beruht, so war die Wirkung auf die Thermosäule gleich Null.<sup>3)</sup>

Im Jahre 1850 veröffentlichte A. Cima im Augustheft

1) Pogg. Ann. Bd. 56, S. 574 u. f.

2) Pogg. Ann. Bd. 65, S. 598.

3) Pogg. Ann. Bd. 69, S. 551.

des Journals *Il nuovo Cimento* eine Untersuchung über die Durchstrahlbarkeit der Medien des Auges für Wärme und fand, daß von 100 auffallenden Wärmestrahlen einer Lokatelli'schen Lampe nur 9 die drei von Brücke combinirten Medien durchdrangen. Auf die dunklen Strahlen, auf die es bei der oben aufgeworfenen Frage hauptsächlich ankommt, hat Cima keine Rücksicht genommen.

Tyndall nahm die Untersuchungen wieder im Jahre 1859 auf. Die von ihm gewonnenen Resultate stimmen im Allgemeinen mit den von Brücke veröffentlichten überein. Eine genaue Beschreibung der Tyndall'schen Versuche über diesen Gegenstand ist nicht bekannt geworden. Endlich veröffentlichte Janssen Beobachtungen über die Wärmeabsorption in den Medien des Auges. Als Wärmequelle diente ihm eine Moderaturlampe; ungefähr 8 Strahlen von 100 auffallenden gingen durch das Auge hindurch, dessen Medien zum Theil einzeln untersucht wurden. Um die Thermochrose der einzelnen Theile des Auges zu bestimmen, verglich Janssen die Diathermanität derselben mit der Diathermanität des Wassers bei Anwendung verschiedener Wärmequellen. Es zeigte sich bei diesen Versuchen eine vollständige Uebereinstimmung in der Absorptionskraft einer Schicht Wasser (zwischen Glasplättchen) und einer gleich dicken Schicht irgend eines das Auge zusammensetzenden Mediums<sup>1)</sup>. Da nun Melloni gezeigt hat, daß die dunkle Wärme Wasser zu durchdringen vermag<sup>2)</sup>, so würde aus den letztgenannten Beobachtungen hervorgehen, daß dunkle Wärmestrahlen bis zur Netzhaut des Auges gelangen können. Die Wärme aber, welche in den leuchtenden Strahlen auftritt, müßte nach dem Gesetz von Masson und Jamin, daß vollkommen durchsichtige Körper in gleicher Weise alle leuchtenden Wärmezonen des Spectrums hindurchlassen<sup>3)</sup>, von der Absorption, welche in dem Innern des Auges stattfindet, nicht betroffen wer-

1) *Ann. de chim. et de ph. t. 60, p. 71.*

2) *Pogg. Ann. Bd. 24, S. 645.*

3) *C. R. t. 31, p. 14.*

den;  
klar  
Wärme  
Zu  
auf ein  
der S  
Ei  
mer  
Zonen  
Durch  
werde  
war e  
beschr  
salzes  
besitz  
bei d  
mas h  
lichst  
tiren.  
tren e  
komm  
der d  
eine z  
rung  
an ein  
Absor  
chen  
groß,  
der ei  
treten,  
günstig  
konnte  
komm  
ständig  
hinaus

1) Pro  
185

den; vorausgesetzt, daß die Medien des Auges vollkommen klar sind. Der größte Theil der vom Auge absorbirten Wärmestrahlen sind also dunkle.

Zu ähnlichen Resultaten wie Janssen bin auch ich auf einem andern Wege gelangt und zwar bei Benutzung der Sonnenwärme.

Ein Bündel Sonnenstrahlen wurde in ein dunkles Zimmer reflectirt, dann durch ein Prisma zerlegt, damit die Zonen von verschiedener Wellenlänge einzeln auf ihre Durchgangsfähigkeit durch die Medien des Auges geprüft werden konnten. Die Aufstellung der einzelnen Apparate war eine ähnliche, wie sie in diesen Annalen Bd. 101, S. 47 beschrieben worden ist. Die bekannte Eigenschaft des Steinsalzes, für alle Wärmefarben die größte Diathermanität zu besitzen, läßt es als nothwendig erscheinen, daß man sich bei der Zerlegung der Sonnenstrahlen eines Steinsalzprismas bediene, sobald es sich darum handelt mit einer möglichst großen Menge dunkler Wärmestrahlen zu experimentiren. In der That ergibt der directe Vergleich der Spectren eines Flintglas- und eines Steinsalzprismas zwar vollkommen gleiche Wärmeintensitäten in den hellen Zonen der durch beide Prismen hervorgebrachten Spectren, aber eine zu Gunsten des Steinsalzprismas sprechende Vermehrung der Wärmemenge in den dunklen Zonen, wie ich an einem andern Orte gezeigt habe<sup>1)</sup>. Indessen ist die Absorption der dunklen Wärme in der durch Nebelbläschen stets getrübten Atmosphäre unserer Breitengrade so groß, daß die Unterschiede zwischen der Wärmemenge der einzelnen dunklen Zonen nicht in dem Maasse hervortreten, wie man nach Melloni's Untersuchungen, die unter günstigeren atmosphärischen Verhältnissen angestellt werden konnten, hätte erwarten sollen. Ich habe bei einem vollkommen wasserhellen Steinsalzprisma bei anscheinend vollständig klarem Himmel nie über die sechste dunkle Zone hinaus eine Wärmewirkung nachzuweisen vermocht, d. h.

1) Programm des Berlinischen Gymnasiums zum grauen Kloster. Ostern 1858.

nie in einer größeren Entfernung von der rothen Gränze des Spectrums, als die Ausdehnung des sichtbaren Spectrums beträgt. Das Maximum aber der Wärmewirkung bei Anwendung eines Steinsalzprismas findet sich in der ersten dunkeln Zone, während das Maximum bei Benutzung eines Flintglasprismas im Roth auftritt.

Beim Beginn dieser Untersuchungen über die Durchstrahlbarkeit der einzelnen Medien des Auges lagen nur die von Brücke gewonnenen Resultate vor, und diese veranlassten mich, um die jedenfalls geringe Quantität dunkler Wärme nachweisen zu können, welche die Medien des Auges durchdringt, alle Glashüllen zu vermeiden. Es wurden deshalb die feuchten Theile des inneren Auges zwischen zwei wasserhelle Steinsalzplatten gegossen und nun die einzelnen Zonen des Wärmespectrums, das durch ein Steinsalzprisma hervorgerufen war, untersucht. Das Spectrum blieb dann nur während der Dauer einer kurzen Versuchsreihe auf dem Schirm der Thermosäule so klar, daß es benutzt werden konnte, denn die Flüssigkeit in dem Troge mit Steinsalzwänden löste bald einen Theil des Steinsalzes auf, wodurch unregelmäßige Refractionen hervorgerufen wurden. So waren die Platten immer nur für eine Versuchsreihe zu benutzen. Aber auch das Steinsalzprisma selbst zeigte bald, obgleich es fast vor jeder Versuchsreihe neu polirt wurde, eine weniger scharfe Brechung, als zur genauen Anstellung der Versuche nöthig war.

Die zu untersuchenden Theile des Auges wurden stets von dem Auge eines frisch geschlachteten Ochsen genommen. Durch einen äquatorialen Schnitt wurde das von allen Muskeln befreite Auge getheilt; die Glasfeuchtigkeit läßt sich dann leicht von jeder Trübung durch das Pigment frei halten. Der obere Theil der Sclerotica mit der Hornhaut wurde dann vom Pigment gereinigt und ausgespannt. Es zeigte sich aber bald, daß dieses Ausspannen nicht eine hinreichend glatte Fläche gewährte um jenseit derselben ein scharfes Bild des Spectrums zu erhalten. Daher wurde später zur Aufstellung der *cornea* ein kleiner Metallcylinder

angewendet, welcher, auf der einen Seite durch eine durchsichtige Platte geschlossen, auf der andern Seite kugelförmig gewölbt war. Diese kugelförmige Wölbung war in der Mitte länglich ausgeschnitten. Auf die Wölbung wurde die Hornhaut aufgebunden. Der Cylinder selbst trug seitlich ein Rohr, das mittelst eines Gummirohrs mit einer mit Luft gefüllten Blase verbunden war. So konnte die Hornhaut stets gespannt erhalten werden und die einzelnen Zonen strahlten deutlich begränzt durch dieselbe hindurch.

Die wässrige Feuchtigkeit mußte durch einen Stich in die Hornhaut des frischen Auges gewonnen werden, weil dieselbe, sobald sie nach dem Abheben der Krystalllinse von innen herausgegossen wurde, stets eine kleine Trübung, durch das verletzte Pigment hervorgerufen, zeigte.

Die Krystalllinse endlich wurde nicht in ihrem natürlichen Zustand benutzt, wegen der Schwierigkeit der Bestimmung des Fokus für die dunkeln Strahlen. Die Versuche mit der Krystalllinse wurden nicht bei Anwendung des Steinsalzprismas angestellt, sondern erst später, als das Steinsalzprisma durch ein Flintglasprisma ersetzt war, wo dann die Linse zwischen zwei Glasplatten so geprefst wurde, daß die Substanz derselben eine Dicke von 2<sup>mm</sup> einnahm.

Die ersten im Sommer 1859 angestellten Versuche schlossen jede Benutzung von Glas aus. Steinsalzprismen und Steinsalzplatten waren die einzigen Körper, welche außer den Medien des Auges selbst von den Wärmestrahlen durchdrungen wurden.

Das benutzte Spiegelgalvanometer gab in der rothen Zone Ausschläge, welche zwischen 6 und 11 Theilstrichen der benutzten Scale schwankten. Da aber hier nicht die Absicht vorliegt, die Menge der von jedem Medium des Auges absorbirten Wärme zu finden, sondern nur die Verhältnisse, in welchen die verschiedenen Wärmefarben das betreffende Medium durchstrahlen, so ist für die durch irgend eins der Medien strahlende Menge des rothen Strahlenbündels die Zahl 10 gewählt, und die Ausschläge, somit



die Wärmemengen <sup>1)</sup> sind auf ein und dieselbe Einheit reducirt.

Wegen der geringeren dispersirenden Kraft des Steinsalzprismas gegen das bei früheren Versuchen benutzte Flintglasprisma wurden bei den ersten Versuchen über die Diathermansie der Hornhaut je zwei Zonen zusammengefasst, um ihre erwärmende Wirkung auf die Thermosäule auszuüben. Es ergaben sich folgende Verhältnisse für die durchstrahlenden Wärmemengen der verschiedenen Zonen.

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Zone Violett und Indigo       | 0,9  |
| „ Blau und Grün               | 3,6  |
| „ Gelb und Roth               | 10,0 |
| erste und zweite dunkle Zone  | 3,7  |
| dritte und vierte dunkle Zone | 0,8  |

Für den *humor aqueus*, der sich in einer Schicht von etwa 4<sup>mm</sup> Dicke zwischen zwei wasserhellen Steinsalzplatten befand, war das Verhältniss der Wärmemenge in den leuchtenden Zonen, nachdem sie den Zwischensatz durchdrungen hatten, wenig verschieden von dem, welches früher für Wasser angegeben worden ist, bei einer Wasserschicht von etwa 60<sup>mm</sup> Dicke, für die dunklen Zonen war es im Mittel aus 3 Beobachtungsreihen:

|                    |      |
|--------------------|------|
| rothe Zone         | 10,0 |
| erste dunkle Zone  | 7,1  |
| zweite dunkle Zone | 2,6  |

Der *humor vitreus* endlich liess bei einer gleichen Dicke wie der *humor aqueus* etwa in demselben Verhältniss mit dieser die Wärme der verschiedenen Zonen hindurch.

Es schien somit durch diese Versuche erwiesen, dass, wenn auch in sehr geringem Grade, die nicht leuchtenden Wärmestrahlen im Stande wären, die Medien des Auges zu durchdringen. Da aber wegen der geringen Schärfe der Zonengränzen bei Benutzung von Steinsalz als Prisma und als Trogwand die verzeichneten Versuche nicht die genügende Sicherheit eines untrüglichen Resultates bieten, so beschloß ich, das Steinsalz durch Glas zu ersetzen. Es ist

1) Pogg. Ann. Bd. 89, S. 526.

klar, daß nach Einführung des Glases eine geringere Menge von dunklen Wärmestrahlen zu den Medien des Auges gelangen, wenn aber in diesem Falle doch noch eine wahrnehmbare Menge die Medien durchdringt, so ist ausgemacht, daß das Auge nicht adiatherman für die dunkeln Strahlen seyn kann<sup>1)</sup>.

Das sichtbare Spectrum hatte bei den folgenden Untersuchungen eine Ausdehnung von 18<sup>mm</sup>. Der Schirm, welcher nur jedesmal eine Zone des Spectrums auf die Thermosäule fallen liefs, die anderen Zonen aber aufhielt, hatte einen Spalt von solcher Breite, daß die Thermosäule selbst von einer 3<sup>mm</sup> breiten Zone beschienen wurde. Durch seitliche Fortbewegung des Schirmes und der Thermosäule konnten die verschiedenen Zonen der Untersuchung unterworfen werden.

Bei Einstellung der Hornhaut in die von dem Prisma ausgehenden Strahlen ergaben sich als Mittel aus sechs Versuchsreihen folgende Werthe für die durchgehende Wärmemenge:

|         |      |                   |     |
|---------|------|-------------------|-----|
| Violett | 1,0  | erste dunkle Zone | 8,0 |
| Indigo  | 2,3  | zweite "          | 6,2 |
| Blau    | 3,7  | dritte "          | 1,9 |
| Grün    | 7,3  |                   |     |
| Gelb    | 15,2 |                   |     |
| Roth    | 10,0 |                   |     |

Der *humor aqueus* befand sich bei der Untersuchung in einem innen geschwärzten Messinggefäß mit 2 parallelen Glaswänden von 8<sup>mm</sup> inneren Abstand. Der relativ bessere Durchgang der gelben Strahlen, der bei der Hornhaut so entschieden hervortrat, zeigte sich hier nicht. Die hellen

1) Volpicelli bemerkt in einer seiner Abhandlungen über strahlende Wärme, (*Atti de' nuovi Lincei V, p. 145*) daß er das Steinsalz weniger diatherman für Sonnenwärme gefunden habe, als Flintglas. Nach vergleichenden Versuchen, die ich angestellt und in dem oben angeführten Programm veröffentlicht habe, ist dieß nicht der Fall, aber der Verlust im Flintglase ist doch nicht gleich zu setzen dem von Melloni für irdische Wärmequellen beobachteten. Melloni giebt für das Verhältniß der durch Steinsalz und Flintglas strahlenden Wärme die Zahlen 100 und 69,64 (*Pogg. Ann. 35, S. 291*).

Strahlen durchliefen die wässrige Feuchtigkeit in Verhältnissen, die den bei der Durchstrahlung des Wassers beobachteten gleich waren. Für die dunklen Zonen ergab sich als Mittel aus 2 Beobachtungsreihen:

|                    |      |
|--------------------|------|
| rothe Zone         | 10,0 |
| erste dunkle Zone  | 9,1  |
| zweite dunkle Zone | 4,4  |
| dritte dunkle Zone | 1,2  |

Die Krystalllinse wurde zwischen 2 Glasplatten gepresst, so daß sie ihre Form verändernd in einer parallelen 2<sup>mm</sup> dicken Schicht zwischen beiden Glasplatten sich befand. Die Linse erleidet sehr bald eine Trübung, wenn nur einige Stunden nach dem Tode des Thieres verflossen sind. Deshalb wurden mit möglichster Schnelligkeit von eben geschlachteten Thieren die Krystalllinsen der Untersuchung unterworfen. Bei der Linse zeigte sich wie bei der Hornhaut, wenn auch nicht in gleichem Maasse, eine verhältnißmäßig bessere Durchgangsfähigkeit der in der gelben Zone enthaltenen Wärme, als sie früher beim Wasser beobachtet war. Es ist aber diese Erscheinung nicht so aufzufassen, daß das gelbe Wärmebündel leichter die Krystalllinse zu durchdringen vermöge als etwa den *humor aqueus*, sondern von rothen Strahlen werden mehr absorbiert, und dadurch steigen die Verhältniszahlen für die gelbe Zone. Wenn also für die rothe Zone die Zahl 10 als diejenige beibehalten wird, welche die Quantität der die Linse durchdringenden Strahlen dieser Zone ausdrückt, so müssen auch die Zahlen, welche die durchdringende Wärmemenge der übrigen Zonen angeben, verhältnißmäßig größer seyn, als wir sie beim Wasser kennen gelernt haben. So zeigte es auch das Mittel aus 3 Versuchsreihen:

|                    |      |
|--------------------|------|
| grüne Zone         | 5,1  |
| gelbe Zone         | 9,9  |
| rothe Zone         | 10,0 |
| erste dunkle Zone  | 8,9  |
| zweite dunkle Zone | 7,3  |
| dritte dunkle Zone | 3,2  |

in der vierten dunkelen Zone war bei einer Versuchsreihe noch eine Spur von Wärme wahrzunehmen.

Die letzten Reihen von Untersuchungen bezogen sich auf den *humor vitreus*. Es wurde ein dem beim *humor aqueus* benutzten gleicher Trog angewendet. Als Mittel von 4 Beobachtungsreihen ergaben sich für das Verhältniß der durchgehenden Wärmemenge folgende Werthe:

|                    |      |
|--------------------|------|
| grüne Zone         | 4,2  |
| gelbe Zone         | 7,6  |
| rothe Zone         | 10,0 |
| erste dunkle Zone  | 9,2  |
| zweite dunkle Zone | 6,7  |
| dritte dunkle Zone | 2,9  |
| vierte dunkle Zone | 0,5  |

Nach diesen Resultaten erscheint die Absorptionskraft der verschiedenen Medien des Auges der des Wassers sehr ähnlich, nur die Hornhaut und die Krystalllinse scheinen von den rothen Strahlen eine größere Menge zu absorbiren als das Wasser. Wir sind dann aber beim Festhalten an der Identitätstheorie für Licht und Wärme gezwungen, den Grund der Unsichtbarkeit derjenigen Wärmestrahlen, welche eine geringere Brechbarkeit als die rothen Strahlen besitzen, in der Natur der Netzhaut zu suchen, also auf eine der Melloni'schen Vorstellung ähnliche zurückzugehen: Dafs unser Sehnerv die langsamen Schwingungen der dunkeln Strahlen nicht wiederzugeben vermag.

Es sey mir gestattet hier noch auf eine große Schwierigkeit aufmerksam zu machen, welche die Genauigkeit der Resultate bei Versuchen mit den dunkeln Strahlen der Sonne schmälert. Wenn auch die atmosphärische Luft nur wenig absorbirend auf die strahlende Wärme einwirkt und auch mit Wasserdampf gesättigte Luft eine gleiche Diathermanität besitzt wie trockene <sup>1)</sup>, so befinden sich in unserer Atmosphäre doch so viele Nebelbläschen und fein ver-

1) Magnus, Pogg. Ann. Bd. 112, S. 540. Nach Tyndall's Untersuchungen, Pogg. Ann. Bd. 113, S. 40, absorbirt mit Wasserdampf gesättigte Luft einen Theil der Wärme. Tyndall, Pogg. Ann. Bd. 114, S. 632; Magnus ebendasselbst S. 635.

theilte feste Körper, daß eine große Menge der Wärmestrahlen der Sonne, sey es durch Absorption oder durch Reflexion, verloren geht. Bei anscheinend klarem Himmel ist daher die Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Spectralzonen eine sehr verschiedene. Es mögen hier nur zwei Beobachtungsreihen folgen, die günstigste und ungünstigste unter vielen, welche die Wärme der Spectralzonen bei Anwendung eines Steinsalzprismas bestimmen sollten, und die beide bei anscheinend klarem Himmel erhalten wurden:

|                     | am 12. August | am 21. August |
|---------------------|---------------|---------------|
| rothe Zone          | 10,00         | 10,00         |
| erste dunkle Zone   | 8,94          | 13,00         |
| zweite dunkle Zone  | 1,11          | 8,95          |
| dritte dunkle Zone  | 0,26          | 4,86          |
| vierte dunkle Zone  |               | 1,36          |
| fünfte dunkle Zone  |               | 0,73          |
| sechste dunkle Zone |               | 0,07          |

Die Ausschläge in der rothen Zone betrugen hierbei etwa 35 Theilstriche der Scala. Man sieht hieraus, daß anscheinend klare Tage wie der 12. August zu Versuchen mit dunkeler Sonnenwärme zuweilen gar nicht zu benutzen sind. An zwei Tagen habe ich freilich nur eine so starke Absorption der dunkelen Strahlen gefunden, daß die Absorption in der ersten dunklen Zone größer war als im Roth. Es muß also jeder Versuchsreihe, die jenen oben besprochenen ähnlich ist, eine Prüfung der Sonnenwärme, die bis zur Erdoberfläche gelangt, ohne absorbirenden Zwischensatz, vorangehen. Bei dieser Prüfung zeigte sich noch eine den Vergleich der Resultate erschwerende Erscheinung: die Wärme in der ersten dunklen Zone nahm im Vergleich zur Wärme im Roth ab mit dem Sinken der Sonne, wenn auch die äußere Erscheinung des Himmels keine Aenderung erkennen ließ. So ergab der Versuch an einem sehr klaren Tage in der ersten dunklen Zone für etwa 1 Stunde aus einander liegende Beobachtungszeiten:

13,00, 12,66, 11,78, 11,60;

wenn die Quantität der in der rothen Zone enthaltenen Wärme (die unmittelbar von jeder der verzeichneten Beobachtungen von Neuem bestimmt wurde) durch 10,00 dargestellt wird.

An anderen Tagen zeigte sich Aehnliches. Mit der Dicke der von der Sonne durchstrahlten Schicht unserer Atmosphäre nimmt folglich an demselben Tage, also unter übrigen gleichen Umständen, der Verlust an dunkeln, die hellen Strahlen begleitenden Wärmestrahlen zu. Es ist aber daraus nicht der allgemeine Schluss zu ziehen, dafs mit der Dicke der durchstrahlten atmosphärischen Schicht die Quantität der dunkeln Strahlen stets abnehme. Das Verhältnifs der Wärmemengen in der ersten dunkelen Zone und im Roth war im Mittel aus allen Beobachtungsreihen eines Jahres:

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| im Juli                          | 10,64 : 10,00 |
| in der ersten Hälfte des August  | 10,74 : 10,00 |
| in der zweiten Hälfte des August | 12,87 : 10,00 |
| im September                     | 13,59 : 10,00 |

Die zunehmende Dicke der durchstrahlten Schicht atmosphärischer Luft für sich allein ist also nicht der Grund der oben beobachteten Abnahme der dunkeln Wärmestrahlen, es müssen zufällige Bestandtheile der Atmosphäre, Nebelbläschen oder fein vertheilte feste Körper, diesen störenden Einfluß ausüben, sey es durch Absorption oder durch Reflexion.

Wir wissen aus Melloni's Untersuchungen und denen vieler anderer Physiker, dafs die Wärme, wenn sie eine Schicht einer gewissen diathermanen Substanz durchdrungen hat, mit um so geringerem Verlust eine zweite Schicht derselben Substanz durchdringt, je dicker die erste war. Wärren daher in der Luft schwebende Nebelbläschen der Grund der verschiedenen absorbirenden Kraft der Atmosphäre, so müßte zu Mittag von einer Schicht Wasser weniger dunkle Wärme absorbirt werden, als zu einer späteren Tageszeit, wo die Sonnenstrahlen eine gröfsere Schicht Nebelbläschen durchstrahlt haben, als zu Mittag. Das Verhältnifs der auf

die Wasserschicht fallenden und durch sie hindurchgehenden Wärmemengen, welche der ersten dunkeln Zone angehören, mußte also vom Mittag zum Abend der Einheit sich nähern.

Dieser Folgerung widersprechen aber Versuche von Melloni<sup>1)</sup> und Volpicelli<sup>2)</sup>. Beide Physiker haben gefunden, daß eine zwischen 2 Glasplatten eingeschlossene Wasserschicht die Intensität der durchdrungenen Wärmestrahlen vom Mittag zum Abend vermindert. Sie benutzten die vom Heliostatenspiegel reflectirte ungebrochene Wärme. Um diese Versuche auch auf gebrochene Wärmestrahlen auszudehnen, benutzte ich das Steinsalzprisma, wandte ferner ein Gefäß mit parallelen Steinsalzwänden an, und füllte es mit concentrirter Kochsalzlösung. Die Wände des Gefäßes hatten 6<sup>mm</sup> inneren Abstand. Durch die so hergestellte Wasserschicht gingen zu Mittag und um 4 Uhr die Strahlen der hellen Zonen in gleicher Weise hindurch, und auch für die Strahlen der dunkeln Zonen lagen die Unterschiede innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler. Die von Melloni und Volpicelli beobachtete Intensitätsabnahme der durchgedrungenen Strahlen ist bei diesen Versuchen nicht erkennbar, zum Theil wohl darum, weil die Unterschiede in der Dicke der durchstrahlten atmosphärischen Schicht nicht so groß waren, als bei den Versuchen der genannten Physiker. Indessen sind auch die in der klaren Atmosphäre Italiens angestellten Beobachtungen mit den in unsern Breitengraden angestellten nicht ohne Weiteres zu vergleichen; so fand Melloni das Maximum der Wärme in dem Spectrum eines Steinsalzprismas so weit vom rothen Ende entfernt, daß der Abstand zwischen ihm und dem Roth ebenso groß war, als der Abstand zwischen dem Roth und dem Violett<sup>3)</sup>, während bei meinen Beobachtungen das Maximum nie über die erste dunkle Zone hinausging.

Bleibt so die Frage, welche Wirkung die Wassertheil-

1) Pogg. Ann. Bd. 86, S. 496.

2) C. R. Bd. 35, S. 953.

3) Pogg. Ann. Bd. 28, S. 377.



chen der Atmosphäre auf die hindurchdringenden Wärmestrahlen haben, unentschieden, so ist es dagegen nicht zu bezweifeln, daß kleine feste in der Atmosphäre schwimmende Theilchen einen großen Einfluß auf die die ganze Atmosphäre durchdringenden Wärmestrahlen ausüben. Eine dünne Rauchwolke, die kaum den Glanz der Sonnenstrahlen verminderte, bewirkte, als zufällig die Sonnenstrahlen, ehe sie den Heliostatenspiegel trafen, sie durchstrahlten, daß gar keine Wärme in den dunkeln Zonen des Spectrums wahrnehmbar war.

Aus den angeführten Thatsachen geht hervor, daß es nicht möglich ist, quantitativ vergleichbare sichere Resultate über die Durchgangsfähigkeit der dunkeln Spectralzonen zu erhalten, wenn man die Sonne in unseren Breitegraden, und besonders auch in einer belebten Stadt, als Wärmequelle wählt. Die oben angegebenen Versuche beanspruchen aber auch nicht ein bestimmtes Verhältniß für die Quantitäten der durch die verschiedenen Medien des Auges gehenden dunkeln Wärmestrahlen zu finden, sondern es sollte nur gezeigt werden, daß eine durch unsere Thermoskope nachweisbare Menge dunkeler Strahlen bis zur Netzhaut zu gelangen vermag.

V. Ueber die Diglycolsäure (Paraäpfelsäure);  
von W. Heintz.

In meiner Arbeit über zwei neue Reihen organischer Säuren <sup>1)</sup> erwähnte ich S. 475 der Entdeckung einer Säure, welche mit der Aepfelsäure isomer ist, und deren Baryt, und saures Ammoniak Salz ich bis dahin einer näheren Untersuchung unterworfen hatte. Das Hydrat der Säure konnte ich noch nicht darstellen, weil mir nach den angestellten Versuchen das Material ausgegangen war. Seitdem habe ich mich vielfach mit der Bildungsweise dieser Paraäpfelsäure beschäftigt und namentlich nachzuweisen gesucht, daß dieselbe nach der Gleichung  $C^2H^2ClNa\Theta^2 + C^2H^3Na\Theta^3 + NaH\Theta = ClNa + C^4H^3Na^2\Theta^5 + H^2\Theta$  gebildet werde, indem ich der Ansicht nachging, daß sie das Radical Glycolyl zweimal enthalte und also Diglycolsäure genannt werden könne.

Längst schon war ich mit diesen Versuchen beschäftigt, als mir Wurtz seine Abhandlung: *Transformation du gas oléfiant en acides organiques complexes* <sup>2)</sup> übermittelte, wonach er dieselbe Säure auf andere Weise erhalten zu haben scheint. Durch Einwirkung von Salpetersäure auf Diglycol, einem Körper, der das Radical Aethylenyl zweimal enthält, und dessen Formel Wurtz  $\left. \begin{matrix} (C^2H^4)^2 \\ H^2 \end{matrix} \right\} \Theta^3$  schreibt, dem aber nach Wislicenus Schreibweise die

Formel  $\left. \begin{matrix} C^2H^4 \\ C^2H^4 \\ H \end{matrix} \right\} \Theta \left\{ \begin{matrix} \Theta \\ H \end{matrix} \right\} \Theta$  zukommen würde, erhielt Wurtz

eine Säure, deren Kalk, Silber und saures Kalisalz und deren Hydrat er näher untersucht hat, und der er nach den Analysen dieser Verbindungen die Formel  $\left( \begin{matrix} C^2H^2\Theta^2 \\ H^2 \end{matrix} \right)^2 \Theta^3$

1) Diese Annalen Bd. 109, S. 301 und 470.\*

2) Auch *Comptes rendus* T. 51, p. 162.

ertheilt, die nach Wislicenus Schreibweise in die Formel



stanz ist also Diglycolsäure. Sie ist isomer mit der Aepfelsäure und also mit der von mir etwas früher entdeckten Paraäpfelsäure gleich zusammengesetzt. Wurtz vermuthet, daß sie mit der letzteren identisch seyn möchte.

Diese Vermuthung hat sich durch die Versuche, welche ich mit der Paraäpfelsäure angestellt habe, vollkommen bestätigt. Schon im Sommer 1860 hatte ich das Hydrat derselben dargestellt und mich davon überzeugt, daß diese Säure sehr leicht in großen Krystallen anschießt, die vollständig farblos und wasserhell sind, an der Luft liegend aber bald weiß und undurchsichtig werden, ohne zu zerfallen. Dieselbe schmilzt schon unter  $150^{\circ}$  C. zu einer farblosen Flüssigkeit, kocht dann ziemlich lange ohne sich zu färben. Bei  $190^{\circ}$  stößt sie ohne zu kochen Dämpfe aus. Die Krystalle der Säure hatten in der Form große Aehnlichkeit mit denen der Säure, welche mir Wurtz im Herbst 1860 in Karlsruhe zu zeigen die Freundlichkeit hatte. Ich habe indessen eine Reihe von Salzen der Paraäpfelsäure untersucht, darunter auch das saure Kali- und namentlich das Kalksalz, welche, wie auch das Hydrat der Säure in ihren Eigenschaften wie in ihrer Zusammensetzung, so vollkommen mit denen der von Wurtz dargestellten Körper übereinkommen, daß an der Identität der auf so verschiedenem Wege gewonnenen Säuren nicht mehr gezweifelt werden kann. Deshalb habe ich nun auch den Namen Paraäpfelsäure aufgegeben und den von Wurtz gegebenen, die Constitution der Verbindung andeutenden, Diglycolsäure, vorgezogen.

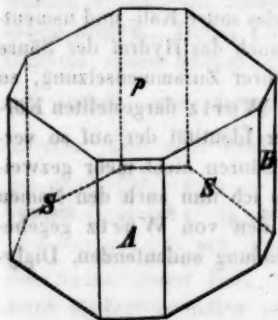
#### Diglycolsäurehydrat.

Wird saures diglycolsaures Ammoniak, dessen Darstellung ich schon in meinem früheren Aufsatz ausführlich be-

schrieben habe, in wässriger Lösung genau mit Ammoniak neutralisirt, und zu der kochenden Flüssigkeit eine ebenfalls kochende Lösung von essigsaurem Bleioxyd gebracht, so bleibt die Mischung oft zuerst klar, setzt aber allmählich ein weißes Salz ab, das in Wasser nicht ganz unlöslich ist.

Aus diesem Bleisalz wird das Diglycolsäurehydrat leicht mit Hülfe von Schwefelwasserstoff abgeschieden. Dampft man die von Schwefelblei abfiltrirte Lösung ein, so scheidet sich bei hinreichender Concentration das Diglycolsäurehydrat in schönen, großen, farblosen Krystallen aus.

Diese Krystalle sind gerade rhombische Prismen. Ich habe jedoch davon zwei Formen beobachtet. Bei der einen war die schiefe Endfläche auf eine stumpfe (*S*), bei der anderen auf eine scharfe Säule (*s*) gerade aufgesetzt. Erstere Form habe ich nur einmal erhalten, und vermag ich nicht anzugeben, welche Umstände die Bildung derselben bedingen. Ausser den Flächen des rhombischen Prismas fanden sich auch die Abstumpfungsfächen der stumpfen wie der scharfen Seitenkante. Beistehende Zeichnung stellt die Form derselben dar. Die bei der Messung der Winkel gefundenen Werthe sind:



$$A : p = 125^{\circ}$$

$$B : p = 90^{\circ}$$

$$S : p = 118^{\circ} 30'$$

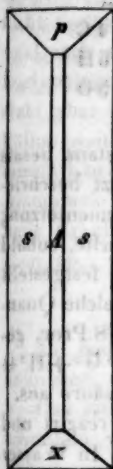
$$S : S = 113^{\circ}$$

$$B : S = 123^{\circ} 30'$$

$$A : S = 146^{\circ} 30'$$

Während die Krystalle dieser Form stets nur sehr kurze Prismen darstellten, war die andere Form bedeutend gestreckter. Hier fand sich auch stets die hintere Endhälfte vor,

die ich bei jenen Krystallen nicht beobachtet habe. Die zweite Form erscheint, wie nachstehende Zeichnung darstellt. Die Messungen der Winkel haben Folgendes ergeben:



$$A : p = 124^{\circ} 30' - 125^{\circ}$$

$$s : s = 74^{\circ}$$

$$A : s = 127^{\circ}$$

$$A : x = 125^{\circ} 30' - 125^{\circ}$$

$$p : x = 110^{\circ} (109^{\circ} 40' - 110^{\circ} 30')$$

Diese Messungen scheinen nachzuweisen, daß die Krystalle als rhombische zu betrachten seyen, weil die Flächen  $p$  und  $x$  mit der Hauptaxe denselben Winkel bilden. Indessen der Umstand, daß stets die eine der beiden Flächen glänzend, die andere matter erschien, und daß bei der anderen Form, die, wie wir gleich sehen werden, leicht auf diese zurückgeführt werden kann, nur die eine Fläche vorkam, scheinen zu genügen, die Krystalle als kline-rhombische zu bezeichnen. Daß aber die Krystalle genau demselben System angehören, folgt einmal daraus, daß die schiefe Endfläche in beiden Fällen auf die Fläche  $A$  unter demselben Winkel gerade aufgesetzt ist und dann daraus, daß die Tangenten der halben Winkel, welche die Flächen des rhombischen Prismas mit einander bilden, in dem Verhältniß von 1 : 2 stehen, d. h. also bei gleicher Klinodiagonale in beiden Formen verhält sich die Orthodiagonale wie 1 : 2

$$\tan \frac{1}{2} 113^{\circ} = 1,5108$$

$$\tan \frac{1}{2} 74^{\circ} = 0,7536.$$

Sind diese Krystalle der Luft ausgesetzt, so werden sie weiß und undurchsichtig, wobei sie an Gewicht verlieren. In der Hitze verhalten sie sich ganz, wie Wurtz von seinen Krystallen angiebt.

Die Analyse der Säure führte mich zu derselben Formel, welche Wurtz für das Hydrat der Diglycolsäure aufgestellt hat. Die gefundenen Zahlen sind folgende:

|             | Gefunden |       | Berechnet   |
|-------------|----------|-------|-------------|
| Kohlenstoff | 35,82    | 35,67 | 35,82 = 4 C |
| Wasserstoff | 4,60     | 4,61  | 4,48 = 6 H  |
| Sauerstoff  | 69,58    | 59,72 | 59,70 = 5 O |
|             | 100      | 100   | 100.        |

Die zu der ersten Analyse verwendete Substanz besaß die zuerst, die zur zweiten benutzte die zuletzt beschriebene Form. Dessenungeachtet war die Zusammensetzung dieselbe, was allerdings vorausgesetzt werden durfte, sobald die Identität des Krystallsystems beider Formen festgestellt war. Der Wassergehalt beträgt ein Molecül, welche Quantität 11,84 Proc. erfordert. Im Mittel sind 11,78 Proc. gefunden worden, demnach drückt die Formel  $C^4H^6O^5 + H^1O$  die Zusammensetzung der Krystalle der Diglycolsäure aus.

Die Dyglycolsäure ist farb- und geruchlos, reagirt und schmeckt stark sauer, den Fruchtsäuren ähnlich. In Wasser und Alkohol löst sie sich leicht auf. In Aether ist sie ebenfalls, doch schwieriger löslich. Die concentrirte wässrige Lösung wirkt nicht drehend auf die Polarisationsebene ein. Kalkwasser wird in keiner Weise dadurch gefällt. Strontian- und Barytwasser geben anfänglich damit auch keine Niederschläge. Zuerst setzt sich aber aus diesem, später auch aus jenem ein krystallinischer Absatz ab, der dort unter dem Mikroskop als aus langgestreckten Rechtecken, oder an beiden Enden zugespitzten prismatischen, hier aus kleinen körnigen Krystallen bestehend sich darstellt, deren Form zu complicirt ist, um unter dem Mikroskop erkannt werden zu können. Chlorbaryum, Chlorstrontium, Chlorcalcium fallen die Säure nicht. Auf Zusatz aber von Ammoniak fällt sehr bald das Baryt-, später das Kalk- und Strontiansalz nieder. Wie schon oben erwähnt schmilzt die Säure unter  $150^\circ C.$ , und erstarrt beim Erkalten theils strahlig, theils blättrig krystallinisch. Löst man sie dann in Wasser, so krystallisirt sie aus der Lösung beim freiwilligen Verdunsten derselben unverändert wieder heraus, die Krystalle haben die Form der Diglycolsäure, verwittern an der Luft, geben mit Barytwasser die schwer lösliche

Barytverbindung, genug durch Schmelzen wird die Säure nicht verändert.

Durch salpetersaures Silberoxyd wird die Lösung der Diglycolsäure nicht gefällt, auf Zusatz von Ammoniak entsteht aber ein weißer Niederschlag, der im Ueberschuss des Fällungsmittels löslich ist. Diese Lösung verändert sich durch Kochen nicht. Verdampft man das überschüssige Ammoniak in der Kochhitze, so setzt sich das Silbersalz beim Erkalten in Form weißer, feiner, sechsseitiger Täfelchen ab.

#### Diglycolsäures Kali.

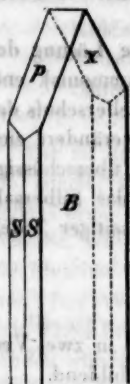
Mit Kali verbindet sich die Dyglycolsäure in zwei Verhältnissen, ein saures und ein neutrales Salz bildend.

Das saure diglycolsäure Kali ist schon von Wurtz beschrieben worden. Auch ich hatte es, noch ehe mir die Arbeit von Wurtz bekannt geworden war, dargestellt und analysirt. Die Methode der Darstellung war die von Wurtz angewendete. Es wurde nämlich von zwei gleichen Mengen der Säure die eine mit kohlensaurem Kali genau neutralisirt und nun die andere Hälfte hinzugethan. Es schieden sich schwer lösliche Krystallchen aus, die durch Umkrystallisiren in ziemlicher Gröfse erhalten werden konnten.

Oft erscheinen dieselben trübe. Dessenungeachtet ist es mir gelungen, ihre Form festzustellen, und die meisten Winkel an denselben zu messen. Diese Messungen wurden noch besonders dadurch erschwert, dafs stets mehrere Krystalle mit einander verwachsen waren.

Sehr häufig wiederholt sich dasselbe Individuum in gleicher Stellung. Oft sind sogar vier solcher Krystalle in der Weise mit einander combinirt, dafs diese Combination das Aussehen einer Backzahnkrone erhält. Sehr häufig vereinigt sich auch eine ganze Reihe solcher Krystalle in derselben Weise. Die Form eines einfachen Krystalls wird durch nachstehende Zeichnung dargestellt. Er bildet ein rhombisches Prisma, dessen scharfe Seitenkante durch eine stark ausgebildete Fläche gerade abgestumpft ist. Es findet sich





die vordere und die hintere schiefe Endfläche vor. Auch Abstumpfungen der beiden Endecken habe ich beobachtet, aber die von diesen Flächen gebildeten Winkel nicht messen können, weil sie nur sehr wenig ausgebildet waren.

Die Werthe der gemessenen Winkel sind im Mittel folgende:

$$S : S = 112^{\circ} 54'$$

$$S : p = 121^{\circ} 37'$$

$$p : B = 90^{\circ}$$

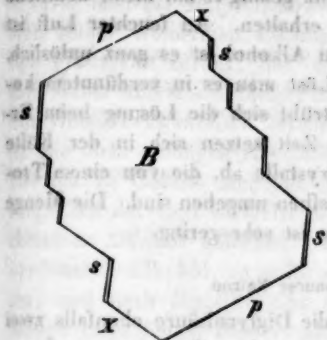
$$x : B = 90^{\circ}$$

$$p : x = 118^{\circ} 30'$$

$$B : S = 123^{\circ} 36'$$

Unter dem Mikroskope wurde noch der Winkel gemessen, den die Fläche  $p$  mit der stumpfen Seitenkante des Prismas bildet. Er fand sich nahe gleich  $129^{\circ}$ . Aus den Winkeln, die die Prismenflächen mit einander und mit der schiefen Endfläche bilden, läßt dieser Winkel sich auch berechnen, und danach ist er gleich  $128^{\circ} 59'$ . Daraus folgt, daß die Fläche  $x$  mit der Hauptaxe einen weniger stumpfen Winkel bildet, als die Fläche  $p$ .

Die Verwachsung dieser Krystalle ist stets der Art, daß die einzelnen Individuen, sich in gleicher Stellung wiederholend, entweder parallel der Fläche  $p$  oder der Fläche  $B$ , die mit einander rechte Winkel bilden, an einander gelegt sind. Sind je zwei solcher Individuen nach der einen Weise verbunden, und combiniren sich diese Combinationen noch auf die andere Weise, so entsteht die backzahnartige Form. Wiederholen sich die Krystalle in größerer Zahl neben einander, so geschieht dies durch Auseinanderlegen parallel der schiefen Endfläche  $p$ . Die Krystalle erhalten dann eine Form, die durch nachstehende Zeichnung erläutert wird. Sehr häufig erscheint die Verwachsung noch complicirter. Doch beobachtete ich stets, daß die entsprechenden Flächen solcher Combinationen parallel waren, also gleichzeitig spiegelten. Die Krystalle sind in der Richtung der Fläche  $p$  sehr vollkommen spaltbar.



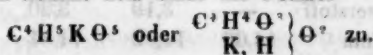
Das saure diglycolsaure Kali löst sich, wie schon oben erwähnt, in Wasser schwer auf, in Alkohol ist es nicht löslich. Kocht man es mit käuflichem, absoluten Alkohol, und filtrirt, so reagirt die abfiltrirte Flüssigkeit nichtsaure. Läßt man aber die Lösung zur Trockne verdunsten, so bleibt eine kaum sichtbare Spur des

Salzes zurück, die aber doch genügt, um einem Tropfen Wasser saure Reaction zu ertheilen. Hiernach darf das Salz gewifs als in wirklich absolutem Alkohol unlöslich betrachtet werden. Die Krystalle dieses Salzes enthalten kein Wasser.

Bei der Analyse, die mit bei  $110^{\circ}$  C. (I und II) zuletzt bei  $130^{\circ}$  C. (III und IV) getrockneter Substanz ausgeführt wurde, wobei sie nur äußerst wenig an Gewicht verlor, erhielt ich folgende Zahlen:

|             | I     | II    | III   | IV    | berechnet |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Kohlenstoff | —     | —     | —     | 27,83 | 27,88 4 C |
| Wasserstoff | —     | —     | —     | 2,96  | 2,91 5 H  |
| Kalium      | 21,92 | 22,21 | 22,77 | 22,48 | 22,74 1 K |
| Sauerstoff  | —     | —     | —     | 46,73 | 46,47 5 O |
|             |       |       |       | 100   | 100.      |

Hiernach kommt dem Salze die Formel



Das neutrale diglycolsaure Kali wird gewonnen, wenn man Diglycolsäure oder saures diglycolsaures Kali mit kohlensaurem Kali genau neutralisirt, und die Lösung verdunstet. Es bleibt ein dicker Syrup zurück, der sich über Schwefelsäure mit einer weissen festen Schicht bedeckt, die aus langen nadel-förmigen Krystallen besteht. Bei der geringen Menge der mir

zu Gebote stehenden Substanz gelang es mir nicht, deutliche Krystalle dieses Salzes zu erhalten. An feuchter Luft ist es übrigens zerfließlich. In Alkohol ist es ganz unlöslich, selbst in der Kochhitze. Löst man es in verdünntem kochenden Alkohol auf, so trübt sich die Lösung beim Erkalten, und nach längerer Zeit setzen sich in der Kälte kleine kurze prismatische Krystalle ab, die von einem Tropfen wässriger Lösung derselben umgeben sind. Die Menge der sich bildenden Krystalle ist sehr gering.

Verdampfung des Salzes.

**Diglycolsäures Natron.**

Mit dem Natron bildet die Diglycolsäure ebenfalls zwei Salze, ein saures und ein neutrales, die genau so dargestellt werden können, wie das entsprechende Kalisalz.

Das saure diglycolsäure Natron krystallisirt in kleinen tafelförmigen Krystallen, deren Form nicht näher bestimmt werden konnte. Sie erscheinen als rechtwinklige Tafeln mit abgestumpften Ecken. Die Kanten waren meist abgerundet und so gaben denn auch die Flächen nicht deutliche Spiegelbilder.

Dieses Salz löst sich im Wasser ziemlich schwer, aber doch leichter als das entsprechende Kalisalz auf. In Alkohol ist es nicht löslich. Es verhält sich dagegen genau wie das saure Kalisalz. Wird es erhitzt, so bläht es sich auf.

Bei der Analyse dieses Salzes, welche mit bei 130° C. getrockneter, gepulverter Substanz ausgeführt ward, wurden folgende Zahlen erhalten:

|             | I.    | II.   | berechnet. |      |
|-------------|-------|-------|------------|------|
| Kohlenstoff | —     | 30,53 | 30,73      | 4 C  |
| Wasserstoff | —     | 3,19  | 3,20       | 5 H  |
| Natrium     | 14,66 | 14,52 | 14,84      | 1 Na |
| Sauerstoff  | —     | 51,76 | 51,23      | 5 O  |
|             |       | 100.  | 100.       |      |

Die Formel für dieses Salz, das bei 130° fast gar nicht an Gewicht verliert, das also kein chemisch gebundenes

Wasser enthält, ist also  $C^4H^5NaO^5$  oder  $C^4H^4O^5 \left\{ \begin{matrix} O^1 \\ Na, H \end{matrix} \right.$ .

Das *neutrale diglycolsäure Natron* bleibt beim Verdunsten seiner wässerigen Lösung zunächst als eine syrupartige Flüssigkeit zurück, die, wenn sie über Schwefelsäure sich selbst überlassen bleibt, bald zu einer festen, weissen, nur wenig krystallinisch erscheinenden Masse geseht. Es ist mir nicht gelungen Krystalle dieses Salzes zu erhalten. Die mir zu Gebote stehende Menge desselben war zu gering. An der Luft zerfließt es nicht. Es ist selbst in kochendem Alkohol unlöslich. Löst man es in kochendem verdünnten Alkohol, so trübt sich die Lösung beim Erkalten, und nach längerer Zeit setzt sich eine nur geringe Menge eines feinen Pulvers ab, das unter dem Mikroskop als aus äusserst kleinen, oft concentrisch gruppirten Nadelchen bestehend sich darstellt.

#### Diglycolsäures Ammoniak.

Auch mit dem Ammoniak liefert die Diglycolsäure zwei Salze, ein neutrales und ein saures.

Das *saure diglycolsäure Ammoniak* ist, wie die sauren Salze des Kalis und Natrons wasserfrei. Es lässt sich leicht dadurch gewinnen, dass man die freie Säure mit Ammoniak übersättigt und die Lösung kochend eindampft. Zuerst entweicht das überschüssige Ammoniak, nach und nach beginnt aber die Flüssigkeit sauer zu werden, und endlich scheidet die eingedampfte Lösung das Salz, welches in kaltem Wasser schwer löslich ist, in Form langer prismatischer Krystalle aus.

Dieses Salz ist, wie die schon in meiner früheren Arbeit<sup>1)</sup> angeführten Analysen beweisen, der Formel  $C^4H^5(NH^4)O^5$  oder  $\frac{C^4H^4O^3}{(NH^4),H} O^2$  gemäß zusammengesetzt. 100 Theile Wasser lösen davon 3,08 bis 3,44 Theile auf. In Alkohol ist es nicht löslich. Kochender käuflicher absoluter Alkohol nimmt jedoch so viel davon auf, dass das Filtrat freilich nur sehr schwach sauer reagirt. Beim Verdunsten dessel-

1) Diese Annalen Bd. 109, S. 447. \*

Poggendorff's Annal. Bd. CXV.

ben bleibt ein deutlicher Rückstand, der einem Tropfen Wasser stark saure Reaction ertheilt.

Die Form der Krystalle gebe ich <sup>1)</sup> als schiefes rhombisches Prisma mit so starker Abstumpfung der schiefen Seitenkanten an, daß sie ein fast tafelartiges Ansehen annehmen. Die schiefe Endfläche scheint etwa unter einem Winkel von  $120^\circ$  auf die stumpfe Seitenkante gerade aufgesetzt zu seyn. Ich hoffte, die Form dieser Krystalle, sobald mir mehr davon zu Gebote stehen würden, messen zu können. Diese Hoffnung ist jedoch nicht in Erfüllung gegangen. Bis jetzt habe ich nicht so gut ausgebildete Krystalle erhalten können, daß ihre Winkel meßbar gewesen wären. Dieses Salz bildet leicht übersättigte Lösungen. Seine concentrirte Lösung dreht die Polarisationssebene nicht,

Wird dieselbe mit salpetersaurem Silberoxyd versetzt, so entsteht ein pulveriger, weißer, selbst in kochendem Wasser sehr schwer löslicher, in Salpetersäure löslicher, in der Kochhitze weiß bleibender Niederschlag. Unter dem Mikroskop erscheint dieser Niederschlag amorph.

Essigsaures Bleioxyd erzeugt einen weißen, selbst in kochendem Wasser schwer löslichen Niederschlag. Aus der kochenden Lösung setzt sich nach längerer Zeit das Salz in Form kleiner wasserklarer Krystalle ab.

Durch schwefelsaures Kupferoxyd wird darin nach einiger Zeit ein blauer, aus kleinen mikroskopischen Kügelchen bestehender Niederschlag erzeugt, der auch in kochendem Wasser nur wenig löslich ist.

Schwefelsaures Zinkoxyd erzeugt in der Lösung des Salzes anfangs keinen, später einen aus kleinen Körnchen von unregelmäßiger Gestalt bestehenden Niederschlag.

Salpetersaures Quecksilberoxydul fällt sie sogleich. Der Niederschlag ist weiß, verändert durch Kochen seine Farbe nicht und löst sich nicht darin. Er erscheint amorph. Nur wenige, äußerst kleine Nadelchen, die oft sternförmig gruppirt sind, findet man mittelst des Mikroskops.

Salpetersaures Kobaltoxydul erzeugt nach einiger Zeit

1) Diese Ann. Bd. 109, S. 481.\*

einen geringen röthlichen Niederschlag, der unter dem Mikroskop krystallinisch erscheint. Er besteht aus kurzen prismatischen Krystallen.

Schwefelsaure Magnesia bringt darin keinen Niederschlag hervor.

Chlorbaryum erzeugt nach einiger Zeit einen weissen Niederschlag, der selbst in vielem kochenden Wasser sehr schwer löslich ist. Beim Erkalten der heissen Lösung bilden sich aber Kryställchen.

Chlorcalcium giebt in der Lösung dieses Salzes keinen Niederschlag. Dampft man die Mischung beider Salze ein, so bleibt ein Rückstand, der durch einige Tropfen Kalkwasser zu einem dicken Brei wird, der sich aber in etwas mehr kochenden Wassers wieder auflöst, und dann beim Erkalten neutrale diglycolsäure Kalkerde in Krystallen absetzt.

Das neutrale diglycolsäure Ammoniak hoffte ich dadurch zu erhalten, daß ich das saure Salz in Ammoniakflüssigkeit auflöste und diese Lösung mit absolutem Alkohol versetzte. Es entstand aber kein Niederschlag. Deshalb setzte ich noch Aether hinzu, worauf sich die Flüssigkeit trübte. Allein unter der ätherischen Flüssigkeit sammelte sich eine Flüssigkeit an, die auch nach mehreren Tagen nicht Krystalle abgesetzt hatte.

Deshalb brachte ich diese letztere Flüssigkeit unter eine Glocke über Aetzkalk, wobei sie allmählig zu einem dicken Syrup eintrocknete, der zuletzt zu einer strablig krystallinischen festen Masse gestand, die sehr leicht in Wasser löslich war. Die Reaction dieses Salzes war aber schwach sauer, so daß ohne Zweifel schon ein Theil des Ammoniakgehalts des Salzes entwichen war.

#### Diglycolsäures Natron-Ammoniak.

Sättigt man saures diglycolsäures Ammoniak genau mit kohlen saurem Natron in der Kälte, so bleibt, wenn man die Lösung im Wasserbade verdunstet ein kaum sauer reagirender Rückstand. Löst man diesen in heissem Wasser, so scheidet sich beim Erkalten ein schwer lösliches, sauer

reagirendes, in kleinen Krystallen anschießendes Salz aus, das in Ammoniak leicht löslich, daher ohne Zweifel saures diglycolsaures Natron ist. Ueber Kalk in einer Ammoniak enthaltenden Atmosphäre verdunstet, bleibt ein an Ammoniak zwar sehr reiches, aber sauer reagirendes Salz zurück, das also auch nicht reines diglycolsaures Natron-Ammoniak ist.

#### Diglycolsaures Kali-Natron.

Dieses Salz erhält man, wenn man das saure Kalisalz mit Natron genau sättigt. Dampft man die Lösung ein, so bleibt ein syrupartiger Rückstand, der endlich kleine Krystalle absetzt. Diese erscheinen als Convolute kleiner, wie es scheint flacher prismatischer Krystalle von Perlmutterglanz. Dieses Salz ist in Wasser sehr leicht, in Alkohol dagegen nicht löslich. Schon unter  $100^{\circ}$  C. schmilzt es in seinem Krystallwasser. Größere Krystalle zu erhalten gelang nicht. Da ich aber eine verhältnißmäßig große Menge dieses Salzes dargestellt hatte, so konnte ich es doch mehrfach umkrystallisiren. Das so rein dargestellte Salz ergab bei drei Analysen folgende Zusammensetzung:

|                   | I.    | II.   | III.  | berechn.  |
|-------------------|-------|-------|-------|---|
| Wasserfreie Säure | 59,99 | 59,87 | —     | 59,69 $\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^4$                              |
| Kali              | 24,02 | 23,89 | 24,21 | 24,26 K $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{O}$  |
| Natron            | 15,99 | 16,24 | —     | 16,05 Na $\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{O}$ |
|                   | 100.  | 100.  |       | 100.  |

Da das Salz mehrfach umkrystallisirt war, so ist nicht zu bezweifeln, daß ich es nicht mit einem bloßen Gemisch des neutralen Kali- und Natronsalzes zu thun hatte. Die Formel für das krystallisirte Salz ist  $\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^4 \left\{ \text{O}^2 + 2 \frac{\text{H}}{\text{H}} \right\} \text{O}$ , wonach es 15,65 Proc. Wasser enthalten muß.

#### Diglycolsaure Magnesia.

Wird ein neutrales Alkalisalz der Diglycolsäure mit einem neutralen Magnesiasalz gemischt, so entsteht kein Niederschlag. Man kann aber das Magnesiasalz der Diglycolsäure darstellen, indem man letztere in wässriger Lösung mit Magnesiahydrat sättigt. Die Lösung hinterläßt, wenn sie zur Trockne verdunstet wird, eine weiße amorphe Salz-



masse, die sich in Wasser nicht ganz leicht löst, durch Kochen damit aber aufgelöst wird. Ueberläßt man eine concentrirte heiße Lösung der Erkalting, so scheidet sich nur eine kleine Menge des Salzes in Form kleiner, mikroskopischer Krystalle aus, die gerade rhombische Prismen zu seyn scheinen.

Dieses Salz ist schwer in Wasser löslich, aber doch leichter, als die Verbindungen der drei andern alkalischen Erden mit der Diglycolsäure. Es enthält eine bedeutende Menge chemisch gebundenen Wassers, das aber bei 100° C. nicht ausgetrieben werden kann und erst bei 200° und mehr vollständig entweicht. Selbst bei einer Temperatur von 240° C. wird das wasserfreie Salz nicht zersetzt. Erhitzt man es stärker, so schmilzt es nicht, bläht sich auch nicht wesentlich auf, schwärzt sich aber und verbrennt endlich unter Zurücklassung vollständig weißer Magnesia.

Die Analyse dieses Salzes führte zu folgender Zusammensetzung:

|                | Gefunden | Berechnet                |
|----------------|----------|--------------------------|
| Kohlenstoff    | 22,77    | 22,86 4 C                |
| Wasserstoff    | 1,84     | 1,90 4 H                 |
| Magnesia       | 11,67    | 11,43 2 Mg               |
| Sauerstoff     | 38,68    | 38,10 5 O                |
| Krystallwasser | 25,04    | 25,71 3 H <sup>2</sup> O |
|                | 100      | 100.                     |

Die Formel für dieses Salz ist also  $C^4 H^4 Mg^2 O^5 + H^2 O$  oder  $C^4 H^4 O^3 \left. \begin{matrix} \\ Mg^2 \end{matrix} \right\} O^3 + 3 \left. \begin{matrix} H \\ H \end{matrix} \right\} O$ .

#### Diglycolsäure Kalkerde.

Dieses Salz stellte ich namentlich dar, um die Identität der von mir entdeckten Säure mit der von Wurtz Diglycolsäure genannten festzustellen. Nach den Angaben dieses Forschers krystallisirt dieses Salz in schönen, glänzenden, nadelförmigen Krystallen, die, in kaltem Wasser fast unlöslich, in kochendem sich leichter lösen, wenn sie auch selbst darin immer noch schwer löslich sind. Beim Erkalten dieser Lösung bilden sich jene langen glänzenden Nadeln. Die

kochende Lösung dieses Salzes wird durch salpetersaures Silberoxyd in weißen körnigen Krystallchen gefällt. Alle diese Eigenschaften habe ich an dem aus meiner Säure durch Sättigen mit Kalkmilch und Umkrystallisiren gewonnenen Salze bestätigt gefunden, und auch die Analyse hat dieselben Resultate ergeben, welche Wurtz erhielt. Namentlich ist der Wassergehalt, der erst bei 180° C. vollkommen entweicht, charakteristisch. Ich konnte mich mit einer Wasser- und einer Kalkbestimmung begnügen, da die Gleichheit der Zusammensetzung der Säure selbst mit der von Wurtz untersuchten schon festgestellt ist. Im krystallisirten Salz fand ich 38,0 Proc. Wasser und im wasserfreien 23,48 Proc. Calcium. Die Rechnung nach der Formel  $\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^3\left\{\text{O}^2 + 6\frac{\text{H}}{\text{H}}\right\}\text{O}$  verlangt 38,57 Proc. Wasser und im wasserfreien Salz 23,26 Proc. Calcium.

#### Diglycolsäure Strontianerde.

Dieses Salz erhält man entweder durch Fällung-eines löslichen Salzes der Diglycolsäure mittelst Chlorstrontium, oder durch Sättigen der Säure selbst mit Strontianerdehydratlösung. Es entsteht dadurch ein farbloser, körnig krystallinischer Niederschlag, der in kaltem Wasser schwer, in Alkohol nicht auflöslich ist, und der die durch die Formel  $\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^3\left\{\text{O}^2 + \text{H}^2\text{O}\right\}$  ausdrückbare Zusammensetzung besitzt.

Die Analyse lieferte folgende Resultate:

|             | I     | II    | berechnet |      |
|-------------|-------|-------|-----------|------|
| Kohlenstoff | —     | 20,26 | 20,22     | 4 C  |
| Wasserstoff | —     | 2,82  | 2,53      | 6 H  |
| Strontium   | 36,38 | 36,90 | 36,80     | 2 Sr |
| Sauerstoff  | —     | 40,02 | 40,45     | 6 O  |
|             |       | 100   | 100.      |      |

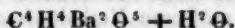
Das Salz enthält also ein Atom Wasser ( $\text{H}^2\text{O}$ ). Bei 240° C. entweichen 8,25 Proc. Wasser. Die Formel für das krystallisirte Salz ist also die oben schon aufgestellte, welche 7,67 Proc. Wasser verlangt.

## Diglycolsäure Baryterde.

Von diesem Salz hatte ich schon in meiner früheren Arbeit <sup>1)</sup> mehrere Analysen geliefert, die zu dem seltsamen Resultat geführt hatten, daß ein in der Kälte durch Fällung von schwach sauer reagirender Lösung von diglycolsäurem Ammoniak mittelst Chlorbaryum dargestelltes Salz bei 110° C. 9,56 bis 9,39 Proc. Wasser leicht und schnell abgab, während ein heifs in derselben Weise erzeugter Niederschlag, der sich nicht augenblicklich nach Mischung beider Salze bildete, bei 110° und selbst bei 150° nicht an Gewicht verlor. Jenes Salz enthielt 56,49 bis 56,79 Proc. Baryterde, dieses dagegen nur 52,74 bis 53,15 Proc. Letzteres konnte also bei 150° nicht vollkommen vom Wasser befreit werden, während jenes, so schien es, bei 110° C., leicht wasserfrei erhalten wurde.

Bei Wiederholung dieser Versuche fand sich jedoch, daß alle früher erhaltenen differirenden Resultate einzig darauf beruhten, daß die diglycolsäure Baryterde durch bloßes Auswaschen nicht von dem Ueberschuß an Chlorbaryum von dem gebildeten Salmiak befreit werden kann. Der durch Glühen daraus erzeugte kohlensäure Baryt enthält stets ziemlich viel Chlorbaryum, mag das Salz noch so sorgfältig gewaschen worden seyn.

Durch Umkrystallisiren gelingt es aber leicht, das Salz rein zu erhalten. Das so gewonnene verlor bei 100° C., ja bei 200° C., nur einige Zehntel Milligramme an Gewicht. Die Analyse ergab in dem so getrockneten Salz 53,17 Proc. Baryterde. Wurde es aber auf 240° C. erhitzt, so verlor es bei zwei Versuchen 6,47 und 6,28 Proc. Wasser und der Rückstand enthielt 57,04 und 56,54 Proc. Baryt. Demnach entspricht die Zusammensetzung dieses Salzes ganz der des diglycolsäuren Strontians; seine Formel ist



1) Diese Annalen Bd. 109, S. 478, 479\*.

(Schluß im nächsten Heft.)

VI. Ueber den Einfluss des atmosphärischen Drucks  
auf einige Verbrennungserscheinungen;  
von Dr. E. Frankland.

(Gelesen in der *Roy. Society*, und mitgetheilt vom Hrn. Verfasser.)

In seinen klassischen Untersuchungen über die Flamme erwähnt H. Davy des Einflusses der Verdichtung und Verdünnung auf die Verbrennung in atmosphärischer Luft. Gelegentlich seiner Versuche mit comprimierter Luft, deren Ausführung bedeutende Schwierigkeiten darboten, sagt er <sup>1)</sup>: »Sie zeigen hinreichend, dass sowie Verdünnung (wenigstens innerhalb gewisser Gränzen) die Hitze der Flamme in atmosphärischer Luft nicht bedeutend verringert, ebenso Verdichtung sie nicht bedeutend erhöht; ein Umstand von grosser Wichtigkeit bei der Constitution unserer Atmosphäre, welche in allen Höhen und Tiefen, wo Menschen leben, doch die nämlichen Beziehungen zur Verbrennung bewahrt.« Er heftete seine Aufmerksamkeit auch auf das unter ähnlichen Umständen entwickelte Licht, obwohl diese Seite des Gegenstandes nur beiläufig seine Beachtung auf sich gezogen zu haben scheint, und es nicht erhellt, dass er genaue quantitative Bestimmungen über das Verhältniss der Zu- oder Abnahme des Verbrennungslichtes gemacht habe. In Bezug auf diesen Punkt sagt er <sup>2)</sup>: »Sowohl Wärme als Licht der Flammen von Kerzen, Schwefel und Wasserstoff wird, wenn uns Vierfache verdichtete Luft auf diese wirkt, erhöht, aber nicht mehr als es durch Zusatz von einem Fünftel Sauerstoff geschehen würde.« Und ferner <sup>3)</sup>: »Die Intensität des Lichts der Flammen in der Atmosphäre wird durch Verdichtung erhöht und durch Verdünnung geschwächt, scheinbar in einem grösseren Verhältniss als die Hitze der-

1) *Phil. Transact.* f. 1817 p. 65.

2) *Ibidem* p. 64.

3) *Ibidem* p. 75.

selben, indem mehr Theilchen, die Licht auszusenden fähig sind, in der dichteren Atmosphäre vorhanden sind und doch die meisten dieser Theilchen, indem sie zur Lichtaussendung fähig werden, Wärme absorbiren, was nicht der Fall seyn kann bei der Verdichtung eines reinen unterhaltenden (*supporting*) Mediums.“

Hr. Triger, ein französischer Ingenieur<sup>1)</sup>, erwähnt einiger Beobachtungen über die Verbrennung in verdichteter Luft, gemacht bei Operationen eigenthümlicher Art, die beim Abbauen eines unter den Alluvionen der Ufer der Loire liegenden Steinkohlenlagers angewandt wurden. Man hatte eine 59 bis 65½ Fufs dicke Schicht von Trieb sand zu durchsinken und war daher genöthigt, Mittel aufzusuchen, um den Sand und das Wasser abzuhalten, was sich durch die gewöhnlichen Fangdämme als unmöglich erwies. Zur Ueberwältigung dieser Schwierigkeit benutze Hr. Triger sinnreich starke gusseiserne Cylinder von etwa 3¼ Fufs Durchmesser, die unten offen und oben verschlossen waren. Diese wurden langsam in den Trieb sand versenkt, während man die innere Luft in erforderlichem Grade verdichtete, um die äufseren halbflüssige Masse auszutreiben. Die innerhalb dieser Cylinder befindlichen Arbeiter waren einem Druck von etwa drei Atmosphären ausgesetzt und die ihm zur Beleuchtung dienenden Kerzen brannten viel schneller ab als unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre. Rücksichtlich dieser raschen Verbrennung sagt Hr. Triger *»à la pression de trois atmosphères, cette accélération devient telle que nous avons été obligés de renoncer aux chandelles à mèches de coton pour les remplacer par des chandelles à mèches de fil. Les premières brûlaient avec une telle rapidité qu'elles duraient à peine un quart d'heure et elles répandaient en outre une fumée intolérable.*

Ein in Indien stationirter intelligenter Artillerieofficier, Quartirmeister Mitchell, fand, dafs die Zeit des Ab-

1) *Ann. chim. et phys. Sér. III, T. III (1841), p. 234.*

brennens der Granatenzündler (*fuses of shells*) an hoch gelegenen Orten durch den verminderten Luftdruck eine beträchtliche Verzögerung erlitt. Die Resultate seiner Versuche werde ich weiterhin noch näher besprechen.

J. Le Conte endlich, in seinem interessanten Aufsatz über den Einfluss des Sonnenlichts auf die Verbrennung<sup>1)</sup>, obwohl er selbst keine Versuche über den Einfluss des Luftdrucks auf den Gang der Verbrennung machte, spricht, nach Anführung der Versuche von H. Davy, Triger und Mitchell, seine Meinung folgendermaßen aus: „Sonach geht eine Mannichfaltigkeit wohl festgestellter Thatsachen dahin, die Schlüsse zu bestätigen, zu welchen wir *a priori* geführt wurden, nämlich, daß der Verbrennungsproceß durch Verringerung der Dichtigkeit der Luft verzögert, und durch Verdichtung derselben beschleunigt wird.“

Das war der Zustand unserer Kenntnisse und Ansichten über den Einfluss des Luftdrucks auf die Wärme und das Licht der Verbrennung als ich im Herbste 1859, während ich den Dr. Tyndall auf den Gipfel des Montblanc begleitete, einige Versuche über die Wirkung des Luftdrucks auf den Gang der Verbrennung unternahm.

#### 1. Einfluss des Luftdrucks auf den Gang der Verbrennung.

##### a) Von Kerzen.

Bei den erwähnten Versuchen liefs ich sechs Stearinkerzen erstlich eine Stunde lang in Chamouny brennen, und bestimmte bei jeder derselben sorgfältig die Menge des verzehrten Stearins. Darauf liefs ich dieselben Kerzen, sorgfältig geschützt gegen Luftzug, eine Stunde lang in einem Zelt auf dem Gipfel des Montblanc brennen und bestimmte wiederum das verzehrte Stearin. Folgendes waren die erhaltenen Resultate:

1) Silliman Journ., New Ser. XXIV, 317.

| Nummer<br>der<br>Kerzen | Stearinverbrauch in einer Stunde                   |  |
|-------------------------|--|--|
|                         | Chamouny<br>Barometer 26",4<br>Temperatur 21°,5 C. | Montblanc-Gipfel<br>Temperatur der Luft im Zelt<br>0°,5 C. |
| 1                       | 9,2 Grm.   | 8,7 Grm.   |
| 2                       | 9,9 "  | 9,5 "  |
| 3                       | 9,2 "  | 9,2 "  |
| 4                       | 10,4 "   | 8,8 "  |
| 5                       | 9,5 "  | 9,3 "  |
| 6                       | 9,2 "  | 9,0 "  |

Diese Zahlen geben folgenden mittleren Gang der Verbrennung:

In Chamouny 9,6 Grm. Stearin pro Stunde

Auf d. Gipfel d. Montblanc 9,1 " " " "

Oder, wenn man die vierte Kerze ausschließt, da sie offenbar anomale Resultate gab, wäre der mittlere Gang der Verbrennung

In Chamouny 9,4 Grm. Stearin pro Stunde

Auf dem Montblanc 9,2 " " " "

Diese nahe Gleichheit der beiden Resultate unter so sehr verschiedenen atmosphärischen Drucken beweist, daß der Gang der Verbrennung der Kerzen ganz unabhängig ist von der Dichtigkeit der Luft, indem die geringe Verschiedenheit wahrscheinlich dem Unterschiede (21° C.) der Lufttemperatur bei beiden Versuchsreihen zugeschrieben werden kann. Es ist unmöglich, diese Bestimmungen mit künstlich verdünnten Atmosphären in genügender Weise zu wiederholen, weil der die Kerze umgebende Apparat sich erhitzt, und diese demgemäß abtröpfelt und ungleich brennt. Allein bei einem Versuch, wo man eine Wallrathkerze erst unter einem Druck von 28,7 Zoll <sup>1)</sup> Quecksilber und dann unter einem Druck von 9 Zoll in Luft brennen ließ und die übrigen Umstände denen jener beiden Versuche so ähnlich wie möglich machte, ergab sich, daß

unter 28,7 Zoll Druck verbrannten 7,85 Grm. Wallrath stündlich

" 9,0 " " " 9,10 " " " "

1) Englisches Maas, wie in dieser ganzen Abhandlung. P.



Dieser Versuch, so unsicher er auch in mehrfacher Hinsicht war, scheint die zuvor erhaltenen Resultate für höhere Grade der Verdünnung zu bestätigen.

β) Von Zeitsündern (*Time-fuses*).

In einem Briefe vom 6. Januar 1855, welcher auszugsweise in den *Proceedings of the Royal Society*, Vol. VII p. 716 erschienen ist, theilt Quartiermeister Mitchell eine Reihe sorgfältig angestellter Versuche mit, welche zeigen, daß der Gang der Verbrennung von Zündruthen eine beträchtliche Verzögerung erleidet, welche er dem verminderten Luftdruck an höheren Stationen und dem dadurch bewirkten spärlicheren Zuflusse von Sauerstoff zuschreibt. Folgendes ist ein kurzer Abriss der Resultate dieser Versuche, bei welchen dreizöllige Zündruthen unter verschiedenen atmosphärischen Drucken abgebrannt wurden:

|                          | Barometer-<br>stand bei<br>0° C. | Höhe<br>über dem<br>Meere | Zeit der<br>Verbrennung |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 Mittel aus 6 Versuchen | 29,61 Zoll                       |                           | 14,25 Sek.              |
| 2 „ „ 6 „                | 26,75 „                          | 3000 Fufs                 | 15,78 „                 |
| 3 „ „ 4 „                | 23,95 „                          | 6500 „                    | 17,10 „                 |
| 4 „ „ 2 „                | 22,98 „                          | 7300 „                    | 18,125 „                |

Vergleicht man den Betrag der Verzögerung mit der entsprechenden Druckverminderung, so erhält man folgende Resultate:

| Verglichene<br>Versuche | Verringerung<br>des Drucks | Verzögerung<br>der<br>Verbrennung |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1 u. 2                  | 2,86                       | 1,53 Sek.                         |
| 2 u. 3                  | 2,80                       | 1,32 „                            |
| 3 u. 4                  | 0,97                       | 1,025 „                           |

Ogleich diese Versuche, wie ich nun bemüht seyn werde zu zeigen, vollkommen verträglich sind mit denen, welche unter ähnlichen Umständen mit Kerzen erhalten wurden, so schien mir doch der Gegenstand in technischer Beziehung von hinreichender Wichtigkeit, eine Wiederho-

lung und Erweiterung dieser Versuche in künstlich verdünnter Luft vorzunehmen. Zu dem Ende wurde ein grosser Eisencylinder einerseits mit einer Luftpumpe und andererseits mit einem 6 Fufs langen Stück einer Gasröhre von 4 Zoll innerem Durchmesser verbunden und das entgegengesetzte Ende dieser Röhre mit einer Vorrichtung versehen, mittelst welcher das Ende der zu verbrennenden Zündruthe luftdicht in die Röhre eingefügt werden konnte, während das verschlossene Ende der Zündruthe ungefähr 2 Zoll in die äussere Luft hineinragte. Die Zündruthen wurden in einem gegebenen Augenblick angesteckt durch eine Volta'sche Vorrichtung, bestehend aus zehn Grove'schen Elementen, einem instantanen Schliesser (*Contact-maker*) und einem Stück dünnen Platindrahts, welcher in die Anfeuerung der Zündruthe (*priming of the fuse*) eingesteckt war. Um den Moment, wann die Verbrennung beendigt war, mit Genauigkeit zu ermitteln, wurde das seitliche Loch am hinteren Ende der Zündruthe bis zur gegenüberstehenden Seite durchgebohrt, und durch diese Oeffnung ein Faden senkrecht hindurchgeführt, welcher oben an einem passenden Gestell befestigt war und unten eine eiserne Kugel trug, einige Zolle über einer Eisenplatte, auf welcher die Kugel herabfallen musste, wenn das Feuer den Faden erreichte, und somit den Zeitpunkt anzeigte, wo unter den gewöhnlichen Umständen das Feuer der Zündruthe sich dem Inhalt der Granate mittheilte. Der Druck wurde durch ein in die Gasröhre eingelassenes Quecksilbermanometer angezeigt.

Die Versuche wurden mit sechszölligen Zündruthen angestellt (welche ich der Güte des Hrn. Abel am Königl. Arsenal zu Woolwich verdanke) und zwar in folgender Weise. Nachdem die Zündruthe in das Ende der Gasröhre eingefügt, und in letzterer, sowie in dem Eisencylinder, der erforderliche Grad von Luftverdünnung hergestellt worden, wurde die Zündruthe auf ein gegebenes Zeichen angesteckt. Während der Verbrennung arbeitete ein Gehülfe an der Luftpumpe, um einen irgend grossen Anwuchs des Drucks

zu verhüten, während ein anderer das Manometer in dem Moment beobachtete, wo die Eisenkugel herabfiel. Das Mittel zwischen dem Druck zu Anfange und zu Ende der Verbrennung wurde als der mittlere Druck betrachtet, unter welchem die Zündruthe verbrannt war. Es ist jedoch klar, daß dieser angenommene Mitteldruck nur ein angenäherter seyn konnte, obwohl das Manometer während des Verlaufs der Verbrennung sehr regelmäsig und allmählich fiel.

Folgendes waren die erhaltenen Resultate. Es verbrannte:

|       |                         |          |                     |                       |
|-------|-------------------------|----------|---------------------|-----------------------|
| I.    | Beim Barometerdruck von | 30",4    | der Zünder No. 1 in | 31 Sek. <sup>1)</sup> |
| II.   | » Druck                 | » 30",4  | » » 2               | » 30 »                |
| III.  | » Druck                 | » 30",4  | » » 3               | » 30 »                |
| IV.   | » Mitteldruck           | » 28",4  | » » 4               | » 32 »                |
| V.    | » »                     | » 28",1  | » » 5               | » 32,5 »              |
| VI.   | » »                     | » 25",55 | » » 6               | » 35 »                |
| VII.  | » »                     | » 25",85 | » » 7               | » 34,5 »              |
| VIII. | » »                     | » 22",35 | » » 8               | » 38 »                |
| IX.   | » »                     | » 22",55 | » » 9               | » 37,5 »              |
| X.    | » »                     | » 19",9  | » » 10              | » 42 »                |
| XI.   | » »                     | » 19",4  | » » 11              | » 41 »                |
| XII.  | » »                     | » 16",15 | » » 12              | » 46 »                |
| XIII. | » »                     | » 15",75 | » » 13              | » 45 »                |

Aus einem Blick auf vorstehende Zahlen wird man sehen, daß man, nach den ersten drei Versuchen unter atmosphärischem Druck, bemüht war zwei Zünder unter gleichem Druck zu verbrennen, daß aber, weil das Manometer während der Verbrennung um etwa zwei Zoll sank, der mittlere Druck, unter welchem jedes Zünderpaar verbrannte, nie genau coïncidirte. Zum Behufe der Vergleichung wird es jedoch zweckmäsig seyn, das Mittel sowohl aus den Drucken als aus den Verbrennungszeiten für jedes Paar zu nehmen und die Resultate folgendermaßen auszudrücken:

- 1) Die ersten drei Zünder wurden in freier Luft abgebrannt, allein die Vorkehrungen zum Anzünden derselben und zur Bestimmung des Aufhörens der Verbrennung waren dieselben wie bei den übrigen Versuchen.

| Mittlerer Druck.<br>Zolle Quecksilber | Mittlere Verbrennungszeit<br>der 6 zölligen Zünder | Zunahme der Verbrennungszeit gegen jede voranstehende Beobachtung | Reduction des Drucks entsprechend der Zeitzunahme | Zunahme der Zeit für jeden Zoll Druckabnahme |
|---------------------------------------|--|---|---|--|
| 30,40                                 | 30,33 Sek.   |   |   |  |
| 28,25                                 | 32,25 "  | 1,92 Sek.   | 2,15 Zoll   | 0,893 Sek.                                   |
| 25,70                                 | 34,75 "  | 2,50 "  | 2,55 "  | 0,980 "                                      |
| 22,45                                 | 37,75 "  | 3,00 "  | 3,25 "  | 0,925 "                                      |
| 19,65                                 | 41,50 "  | 3,75 "  | 2,80 "  | 1,339 "                                      |
| 15,95                                 | 45,50 "  | 4,00 "  | 3,70 "  | 1,081 "                                      |

Es sind hier offenbare Andeutungen, dafs der Gang der Verzögerung bei niederen Drucken etwas gröfser ist als bei verhältnifsmäfsig hohen; allein, vernachlässigt man diese Andeutungen, so geben die obigen Zahlen 1,043 Sekunden als die mittlere Verzögerung bei einer sechszölligen oder 30 Sekunden-Zündruthe für jeden Zoll Abnahme des Quecksilberdrucks. Diefs Resultat stimmt genau mit dem vom Quartiermeister Mitchell erhaltenen, wenn wir diejenigen Zündruthen ausnehmen, welche er bei der gröfsten Höhe abbrannte und bei welchen sich offenbar ein Fehler eingeschlichen haben mufs, sey es rücksichtlich der Höhe der Station oder der Dauer der Verbrennung. Die letztere Fehlerquelle ist vielleicht weniger unwahrscheinlich, da in der gröfsten Höhe nur zwei Versuche gemacht wurden, während er sechs an der zweiten, und vier an der dritten der übrigen Stationen anstellte. Die folgende Tafel zeigt die Uebereinstimmung der Mitchell'schen Resultate mit denen der letzten Tafel. Die angewandten Zündruthen waren 15-sekundliche oder 3-zöllige. Ich habe ihre Verbrennungszeiten mit 2 multiplicirt, um sie in Vergleich zu bringen mit den 6-zölligen, die zu meinen Versuchen gebraucht wurden.

| Mittlerer<br>Druck.<br>Zoll<br>Quecksilber | Mittlere Ver-<br>brennungszeit<br>der 6 zölligen<br>Zünder | Zunahme der<br>Verbrennungs-<br>zeit gegen jede<br>voranstehende<br>Beobachtung | Reduction<br>des Drucks<br>entsprechend<br>der Zeit-<br>zunahme | Zunahme der<br>Zeit für jeden<br>Zoll Druck-<br>abnahme |
|--|--|---|---|---|
| 29,61                                      | 28,50 Sek.   |   |   |   |
| 26,75                                      | 31,56 "  | 3,06 Sek.   | 2,86 Zoll   | 1,070 Sek.  |
| 23,95                                      | 34,20 "  | 2,64 "  | 2,80 "  | 0,943 "   |
| 22,98                                      | 36,25 "  | 2,05 "  | 0,97 "  | 2,113 "   |

Schließt man hier die letzte Bestimmung als anomal aus, so haben wir die mittlere Verzögerung in der Verbrennung einer sechszölligen Zündruthe für jeden Zoll Quecksilber Druckabnahme gleich 1,007 Sekunde, was fast genau mit der aus meinen Versuchen abgeleiteten Zahl 1,043 übereinstimmt.

Die Resultate beider Beobachtungsreihen lassen sich demnach unter folgendes Gesetz bringen: *Die Zunahmen der Zeit sind proportional den Abnahmen des Drucks.*

Für alle praktische Zwecke kann man folgende Regel annehmen: *Jede Verminderung von einem Zoll Barometerdruck bewirkt bei einer 6-zölligen oder 30-sekundlichen Zündruthe eine Verzögerung von einer Sekunde. Oder jede Verminderung des Luftdrucks um einen Zoll Quecksilber verlängert die Verbrennungszeit um ein Dreifsigstel.*

Diese Verzögerung in der Verbrennung von Zeit-Zündruthen bei Abnahme des atmosphärischen Drucks wird wahrscheinlich die Aufmerksamkeit der Artillerie-Officiere verdienen. Bis zu gegenwärtigem Augenblick sind diese Zündruthen sorgfältig so zubereitet worden, daß sie zu Woolwich eine gewisse Anzahl von Sekunden brennen, und die Vollkommenheit, mit welcher dieß erreicht wird, ist höchst merkwürdig; allein eine solche Verbrennungszeit am Meeres-Niveau findet nicht mehr statt, wenn die Zündruthen an höher gelegenen Orten gebraucht werden. Selbst die gewöhnlichen Schwankungen des Barometers in unserer Breite müssen die Verbrennungszeit dieser Zündruthen einer Veränderung von etwa einem Procent aussetzen. So würde eine Zündruthe, die darauf berechnet ist beim Barometer-

stand von 31 Zoll 30 Sekunden zu brennen, 33 Sekunden brennen, wenn das Barometer auf 28 Zoll gefallen ist. Die Höhe, welche ein Hohlgeschoss (*shell*) in seinem Fluge erreicht, muß einen wahrnehmbaren Einfluß auf das Verbrennen seiner Zeit-Zündruthe ausüben. In noch größerem Maasse muß jedoch die Verbrennungszeit afficirt werden durch die Lage der Zündruthe während des Fluges eines gerieften Hohlgeschosses (*rifled shell*). Da bei einem solchen Geschoss die Zündruthe immer vorangeht, so muß bei ihm die Verbrennungszeit offenbar viel kürzer seyn als wenn Geschoss und Zündruthe in Ruhe sind. Bei einem gewöhnlichen Geschoss, welches um eine horizontale Axe rotirt, werden die abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen der Luft an der Mündung der Zündruthe, obwohl sie einander zu compensiren trachten, doch ein bedeutendes Uebergewicht von Zusammenrückung hinterlassen, welches eine merkliche Verzögerung in dem Gange der Verbrennung veranlassen wird.

Die scheinbar widerstreitenden Schlüsse, zu welchen wir, rücksichtlich der Einwirkung des atmosphärischen Drucks auf den Verbrennungsgang, durch die Versuche mit Kerzen einerseits und die mit Zeit-Zündruthen andererseits geführt wurden, sind keineswegs unvereinbar, denn in der That kann man, nach Untersuchung der Umstände bei der Verbrennung in den beiden Fällen kaum andere Resultate erwarten.

Bei der Verbrennung einer Kerze schmelzt zuvörderst die strahlende Wärme der Flamme die verbrennliche Substanz in der Kapsel an der Basis der bloßgelegten Portion des Dochts; durch Capillarwirkung steigt dann das flüssige Wachs, Talg oder Spermaceti in den oberen Theil des Dochts, wo es einer Temperatur ausgesetzt wird, die seine Verflüchtigung und Zersetzung bewirkt. Es ist somit klar, daß der Gang der Verbrennung oder jedenfalls der Gang der Verzehrung des Brennmaterials der Kerze gänzlich ab-

hängt von der Capillarität des Dochts, vorausgesetzt, daß die strahlende Wärme aus der Flamme hinreiche, von der Basis des Dochts aus den Bedarf an Brennmaterial zu liefern, und daß die Temperatur der Flamme hoch genug sey, dieses Material bei seiner Ankunft an der Spitze des Dochts zu verflüchtigen. Da nun die Capillarwirkung nicht durch Veränderung des atmosphärischen Drucks geändert wird, und auch die Temperatur der Flamme, wie weiterhin gezeigt werden soll, practisch unabhängig von demselben Einfluß ist, so kann eine Verringerung in dem Verbrauch des Brennmaterials nur daraus entspringen, daß der Betrag der strahlenden Wärme, welche die Kapsel an der Basis des Dochts trifft, unzulänglich ist, einen Vorrath von geschmolzenem Brennmaterial zu liefern gleich dem, welchen die Capillarität von dem Docht verlangt. Es steht kaum zu bezweifeln, daß der Betrag der strahlenden Wärme aus einem gegebenen Stück der unteren Oberfläche der Flamme verringert wird durch Luftverdünnung, weil durch sie die Helligkeit der Flamme abnimmt. Dessenungeachtet wird diese Verringerung compensirt durch die vergrößerte Oberfläche der Flamme, deren strahlende Wärme die Kapsel trifft, wenn die Flamme durch die Verdünnung größer wird. Ob diese Compensation vollständig ist oder nicht, ist von geringem Belang, weil die Erfahrung zeigt, daß selbst bei den höchsten Graden von Verdünnung noch ein hinreichender Betrag von Wärme die Kapsel trifft, um einen reichlichen Vorrath von flüssigem Brennmaterial zu liefern.

Wir haben demnach keinen Grund *a priori* anzunehmen, daß die Verbrennung von Kerzen in verdünnter Luft langsamer vor sich gehen müsse; vielmehr giebt es eine Betrachtung, die zu der entgegengesetzten Meinung führen könnte. Es ist diese: Die Schnelligkeit der Verbrennung einer Kerze hängt offenbar ab von der Menge des flüssigen Wachses usw., welche in ihrem Dochte in gegebener Zeit aufsteigt; diese Menge wird, bis zu einer gewissen Maximumsgränze, bestimmt durch die Schnelligkeit, mit welcher sie fortgenommen wird an der oberen Portion der



Haarröhrchen, wo sie sich durch die Hitze der Flamme verflüchtigt. Da nun, wie bekannt, die Schnelligkeit der Verflüchtigung vergrößert wird durch eine Abnahme des Drucks, so folgt, daß in verdünnter Luft eine größere Menge des Brennmaterials solchergestalt aus der oberen Portion des Drahts entfernt wird als in zusammengedrückter. Delsungeachtet muß dieser Einfluß der Druckverminderung bei Körpern von so hohen Siedepunkten wie Talg, Wachs usw. sehr klein seyn und deshalb kann derselbe beim Verbrennungsgange in verdünnter Luft nicht wahrgenommen werden.

Entgegen den obigen Thatsachen und Betrachtungen steht die Beobachtung des Hrn. Triger, daß Kerzen in einer dreifach verdichteten Luft viel rascher verbrennen als in der unter gewöhnlichem Druck. Dieser Widerspruch, dessen Ursache sich jetzt nur errathen läßt, mag vielleicht in einigen der oben beschriebenen Umständen, unter welchen die Versuche gemacht wurden, begründet seyn. Die beständige Versorgung einer Kammer wie die, worin die Kerzen verbrannten, mit comprimierter Luft mußte eine verhältnißmäßig hohe Temperatur in der Atmosphäre dieser Kammer und damit nothwendig ein Abträufeln der Kerzen hervorgebracht haben. Ferner würde die sehr unvollkommene Verbrennung, welche eine Kerze unter diesem hohen Druck erlitt, eine Tendenz haben, denjenigen Theil des Dochtes zu vergrößern, welcher innerhalb der Flamme liegt und die Fläche bildet, von der aus die Verdampfung des Brennmaterials vor sich geht. Diese beiden Umstände würden, glaube ich, practisch dahin streben, die Verbrennungszeit einer Kerze zu verkürzen, und das war genau der Umstand, auf den allein Hr. Triger seine Aufmerksamkeit richtete, da er über das Gewicht des *wirklich verzehrten* Brennmaterials keine genaue Bestimmungen machte.

Bei der Verbrennung der Zeit-Zündruthen sind die Bedingungen offenbar ganz anders: Hier kommt die verbrennliche Substanz niemals in Contact mit dem atmosphärischen Sauerstoff als wenn sie die Hülse verlassen hat; unähnlich

der Kerze, enthält die Masse in sich selbst den zur Verbrennung nöthigen Sauerstoff und es ist nur ein gewisser Grad von Wärme erforderlich, um sie zur chemischen Verbindung zu bringen. Würde diese Wärme gleichzeitig jedem Theil der Zündmasse mitgetheilt, so würde das Ganze auf einmal verbrennen. Zuweilen geschieht dies annähernd, wenn durch die Ausdehnung der hölzernen Büchse, in welche die Mischung eingestampft wird, sich zwischen der Büchse und ihrem Inhalt ein kleiner Zwischenraum bildet und sich darin die Entzündung fortpflanzt. Unter solchen Umständen verbrennt die Zündruthe mit explosiver Schnelligkeit und wahrscheinlich rührt das bisweilige Springen der Hohlgeschosse vor oder unmittelbar nach dem Austritt aus der Kanone in einigen Fällen von dieser Ursache her.

Unter normalen Umständen brennt die Zündruthe jedoch nur in einer auf ihrer Axe winkelrechten Scheibe, und die zu ihrer Verbrennung erforderliche Zeit hängt nothwendig von der Geschwindigkeit ab, mit welcher jede folgende Lage der Mischung bis zu der Temperatur erhitzt wird, bei welcher die chemische Verbindung stattfindet. Diese zur Verbrennung nothwendige Hitze entspringt offenbar aus den Producten der Verbrennung der unmittelbar vorhergehenden Schicht der Mischung, und der Betrag der hiedurch der nachfolgenden Schicht mitgetheilten Hitze muß zu großem Maafse abhängen von der Anzahl der Theilchen dieser erhitzten und mit jener Schicht in Berührung kommenden Producte. Da nun ein großer Theil dieser Producte gasförmig ist, so folgt, daß, wenn der Druck des umgebenden Mediums abnimmt, auch die Anzahl der glühenden Theilchen, die in jedem Moment mit der noch nicht entzündeten Schicht der Mischung in Berührung kommen, verringert wird. Daher denn der langsamere Verbrennungsgang in verdünnter Luft.

## II. Einfluß des atmosphärischen Drucks auf das Licht der Verbrennung.

### a) Einfluß der Verdünnung.

Als ich Kerzen auf dem Gipfel des Montblanc brennen ließ, ward ich überrascht durch die verhältnißmäßig geringe Lichtmenge, welche sie aussandten. Der untere und blaue Theil der Flamme, welcher unter gewöhnlichen Umständen sich kaum bis auf einen Viertelzoll dem Scheitel des Dochts nähert, stieg noch ein Achtelzoll darüber hinaus und verringerte somit den leuchtenden Theil der Flamme bedeutend.

Bei Rückkehr nach England wiederholte ich den Versuch unter Umständen, welche mich befähigten, durch photometrische Messungen die Größe dieses Helligkeitsverlustes in verdünnter Luft zu bestimmen. Das Resultat bewies, daß eine Kerze sehr an Leuchtkraft verliert, wenn sie aus Luft von gewöhnlicher atmosphärischer Dichtigkeit in verdünnte gebracht wird. Zugleich treten merkwürdige Veränderungen im Ansehen der Flamme selbst ein, besonders bei hohen Graden von Verdünnung. Während der Druckverringerung bis herab zu einer halben Atmosphäre besteht die Hauptveränderung in einem allmählichen Eindringen des unteren, blauen und nichtleuchtenden Theils der Flamme in den oberen und leuchtenden. Sowie der Druck auf 10 Zoll Quecksilber herabsinkt, geht der Rückzug des leuchtenden Theils der Flamme gegen die Dochtspitze hin ununterbrochen fort, allein die Gestalt und die Farbe der Flamme beginnen ebenfalls sehr merkwürdige Veränderungen zu erleiden; die Spitze wird mehr und mehr abgerundet, bis bei 10 Zoll Druck die Flamme fast die Form einer Ellipse annimmt, während der blaue Theil, welcher nun fast die ganze Flamme begreift, einen eigenthümlichen grünen Ton erlangt. Endlich, bei 6 Zoll Druck, verschwindet die letzte Spur von Gelb aus der Spitze der Flamme und hinterläßt diese als eine fast vollkommene Kugel von der zuvor erwähnten eigenthümlichen grünlich blauen Farbe. Genau vor dem Verschwinden des gelben Theils der Flamme

erscheint ein prachtvoller Halo von nelkenrothem Licht, welcher eine Hohlkugel von der Dicke eines halben Zolls ringsum den blaugrünen Kern bildet und dadurch die Dimensionen der Flamme bedeutend vergrößert. Die Farbe dieser leuchtenden Hülle ähnelt sehr derjenigen, welche Cassiot zuerst an der geschichteten elektrischen Entladung wahrnahm, die durch eine fast entleerte, eine geringe Spur Stickgas enthaltende Röhre ging. Die hierbei der elektrischen Entladung eingeprägte Farbe bildet unzweifelhaft das empfindlichste Reagens auf Stickstoff. In beiden Fällen rührt, glaube ich, das farbige Licht von glühendem Stickgas her.

Eine kleine Gasflamme, die unter einem Druck von 4,6 Zoll Quecksilber in dem Schornstein *b*, Fig. 1 Taf. II, brennt, füllt diesen fast mit dem oben erwähnten nelkenfarbenen Schein (*glow*), indem derselbe sich bis zu einer Höhe von fast 3 Zoll über die eigentliche Flamme erstreckt und den Beobachter unwillkürlich an die elektrische Entladung in fast luftleeren Röhren erinnert. Die Gasflamme zeigt bei diesem geringen Druck keine Neigung zum Erlöschen.

Beim Versuche, photometrische Messungen an Kerzen vorzunehmen, ergab sich, daß wegen der schon erwähnten Unregelmäßigkeiten der Verbrennung keine genügende quantitative Bestimmungen in künstlich verdünnter Luft gemacht werden konnten. Oellampen erwiesen sich ebenfalls untauglich, wegen des allmählichen Aufsteigens der Basis der Flamme zu der Spitze des Dochts, wodurch die Größe der Flamme und der stündliche Verbrauch an Oel sehr verringert wurden. Daher nahm ich meine Zuflucht zu dem Steinkohlengase, welches, obwohl auch gewissen kleinen störenden Einflüssen ausgesetzt, dennoch Resultate lieferte, die bei einer ausgedehnten Reihe von Versuchen eine hinreichende Gleichförmigkeit zeigten, um Vertrauen zu erwecken.

Fig. 1 Taf. II stellt die Anordnung des benutzten Apparates dar. *A* ist ein Regulator, in welchen das Gas zu-

nächst geleitet ward, und von welchem es austrat durch ein T-Stück, dessen einer Arm zu der Flamme (*jet*) *B* führte, welche ich *Normalflamme* nennen will, während das andere mit dem Gasmesser *C* communicirte, der eine Flamme *D* lieferte, welche *Experimentirflamme* heißen mag. Somit war man sicher, Gas von gleichförmigem Druck zu den beiden Hähnen zu liefern, welche den Bedarf der beiden Flammen regulirten. Die Normalflamme war durch einen Glasylinder vor Luftzug geschützt. Das Gefäß oder der Behälter, in welchem man die Experimentirflamme unter verschiedenen atmosphärischen Drucken brennen liefs, bestand aus einem Glasylinder von 12 Zoll Höhe und  $4\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser, abgeschliffen an beiden Enden und daselbst luftdicht verschlossen durch abgeschliffene gusseiserne Platten *aa*, zwischen welche und die Enden des Glaszylinders Lederringe gelegt waren, um den Druck, den die Mütter und Schrauben der drei die beiden Platten zusammenhaltenden Stahlstäbe ausübten, gleichmäfsiger zu vertheilen. *b* ist ein Glaschornstein, oben verengt und eingegypst in den Hahn *c*, welcher den Austritt der Verbrennungsproducte gestattet; *d* ist ein ähnlicher Hahn an der unteren Platte für die Zulassung von Luft in den Cylinder. Die Gas liefernde Röhre *e* geht durch eine Stopfbüchse *f* im Deckel des Cylinders und ist sehr sorgfältig verknüpft mit der Austrittsröhre des Gasmessers, um so die Einmischung jeder Spur von Luft während der Versuche und besonders während der Verbrennung des Gases unter verringertem Druck zu verhüten. Mittelt der Luftpumpe *E* und des Behälters *F* konnte die Atmosphäre in dem Glasylinder *D* gleichförmig auf jeden Druck, kleiner als der der Atmosphäre, gehalten werden. Der Behälter *F* war von Gusseisen und hatte eine Geräumigkeit von  $2\frac{3}{4}$  Kubikfufs; er diente dazu, den Druck, trotz der intermittirenden Wirkung der Luftpumpe, constant zu halten. Der Druck in diesem Behälter und folglich auch in dem Glasylinder *D* wurde angezeigt durch das Manometer *G*, welches gewöhnlich Quecksilber, bisweilen aber, wie weiterhin beschrieben, Wasser enthielt. *HH* ist ein

Bunsen'sches Photometer, mittelst dessen die relative Lichtintensität der Normal- und Experimentirflamme bestimmt ward. Die bewegliche Papierscheibe *g* wurde vor diffusum Licht geschützt durch den Cylinder *hh*, welcher so gestellt war, daß die Verbindungslinie der beiden Flammen durch seine Axe ging. Dieser Cylinder hatte an seinen Enden zwei Aperturen; die eine vorn, in der Figur zu sehen, erlaubte dem Beobachter zugleich die reflectirten Bilder beider Seiten der Scheibe in zwei (in der Figur nicht sichtbaren) Spiegeln zu betrachten, die unter geeignetem Winkel hinter der gegenüberstehenden Apertur angebracht waren.

Dies ist im Allgemeinen die Einrichtung des angewandten Apparats; folgende Einzelheiten mögen die Wirkungsweise desselben näher erläutern und einige noch nicht angegebene Details der Figur erklären. Der Gasmesser *C* war wie gewöhnlich construirt um durch Beobachtungen von einer Minute Dauer den Gang des Verbrauchs während einer Stunde anzuzeigen; um indeß eine größere Genauigkeit zu erzielen, wurden diese Beobachtungen immer auf eine Dauer von wenigstens fünf Minuten ausgedehnt und im Verlaufe der Bestimmungen für jeden einzelnen Druck zeitweise wiederholt. Um die der Experimentirflamme zugeführte Gasmenge vollkommen unter Controle zu haben, wurde in die Austrittsröhre des Gasmessers ein Mikrometerhahn *i* eingefügt. Dicht über der inneren Mündung des Hahns *d* war eine runde Scheibe angebracht, um dem Luftstrom von der Experimentirflamme abzuhalten; durch diese Vorkehrung brannte die letztere immer vollkommen ruhig. Wohl bekannt ist, daß die Leuchtkraft einer Gasflamme sehr bedeutend abhängt von der Geschwindigkeit des Luftstroms, in welchem sie brennt, und daß das Maximum der Leuchtkraft immer erreicht wird, wenn die Geschwindigkeit des Luftstroms gerade eben hinreicht, das Entweichen unverbrannter rufsigiger Theilchen zu verhüten: mit anderen Worten, ein Lichtmaximum wird von einer Gasflamme erhalten, wenn dieselbe, alles Uebrige gleich gesetzt, gerade unter dem *Rufspunkt* gehalten wird.

Diese Bedingung des Helligkeitsmaximum sicherte man sich bei den folgenden Bestimmungen sorgfältig dadurch, daß man mittelst des Hahnes *d* die Zulassung der äußern Luft und dadurch die Geschwindigkeit des Stroms in dem Schornstein *b* regulirte und dabei den Hahn *c* ganz offen liefs. Wenn dagegen die Experimentirflamme unter atmosphärischem Druck brennen sollte, wurde der Hahn *d* entfernt, so daß für den Zutritt der Luft eine weite Oeffnung da war, während der Strom durch den Schornstein mittelst des Hahns *c* regulirt ward. Das Ende der gasliefernden Röhre *e* war zu einer kreisrunden Oeffnung von 1,5 Mllm. Durchmesser verengt und somit ein Brenner von solcher Größe gebildet, daß nicht nur der Austritt des Gases aus *e* mit mehr als den kleinst möglichen Druck verhindert war, sondern auch der Druckunterschied zwischen dem Gase in *e* und der Luft in dem Glaszylinder practisch derselbe bei allen Beobachtungen war. Bei den ersten Versuchen hatte man bedeutend mit der Schwierigkeit zu kämpfen, daß sich das bei der Verbrennung entstehende Wasser in den vom Schornstein *b* zum Behälter führenden Röhren verdichtete, während sich der Hahn *c* und das Kautschuckglied zwischen *c* und *k* ungehörig erhitzen. Um diese Schwierigkeiten zu heben, wurde das Kautschuckgelenk mit einem dünnen Becher *l* umgehen, welcher voll heißen Wassers gehalten ward, während zur Vervollständigung der Abkühlung und der Auffangung des verdichteten Wassers zwei doppelhalsige Flaschen (von denen nur *m* in der Figur abgebildet ist) in Gefäße mit kaltem Wasser eingetaucht waren. Durch Röhren aus vulkanisirtem Kautschuck von hinreichender Stärke um, wenn sie fast luftleer gemacht wurden, dem Zusammendrücken zu widerstehen, war *m* mit *F* und dieses mit der Luftpumpe verbunden.

Jede Beobachtungsreihe wurde folgendermaßen ange stellt. Die Normalflamme *B* wurde angezündet und so regulirt, daß sie etwa 6 bis 7 Kubikfuß Gas pro Stunde verzehrte. Der absolute Gasverbrauch dieser Flamme war offenbar nicht wesentlich, wenn nur der Gang des Verbrauchs



und die Umstände der Verbrennung sich während der Dauer jeder Versuchsreihe nicht änderten. Diese Constanz in dem Gange und den Umständen der Verbrennung sicherte man sich durch den Regulator *A*. Nachdem der Hahn *c* geschlossen, und der Druck in *F* auf etwa 6 Zoll Quecksilber herabgebracht worden, wurde *d* entfernt, *c* ein wenig geöffnet und die Experimentirflamme mittelst eines kleinen, durch die vom Hahn *d* hinterlassene Oeffnung eingeführten Wachsstocks angezündet. Nun wurde der letztere Hahn wieder angeschraubt und langsam gedreht, um allen Luftzutritt bis auf den nothwendigen abzuschneiden, während zugleich *c* langsam geöffnet ward, um den Druck im Glascylinder und in *F* gleich zu machen. Bei dieser Druckverminderung in dem Glascylinder war es natürlich nöthig, die Gröfse der Oeffnung zu verringern, durch welche das Gas aus dem Gasmesser in den Brenner trat, und dies geschah durch den Mikrometerhahn *i*. Nun liefs man den Druck in *F* steigen, bis er den niedrigsten Punkt erreichte, bei welchem eine Beobachtungsreihe gemacht werden sollte; auf diesem Punkt wurde er dann durch fortwährendes Arbeiten mit der Luftpumpe constant erhalten. Nachdem hiermit der Gasverbrauch der Experimentirflamme genau auf stündlich 0,65 Kubikfufs ajustirt, und alles fremde Licht aus dem Zimmer entfernt worden, machte man eine vorläufige Beobachtung über die Leuchtkraft der Experimentirflamme, verglichen mit der der Normalflamme. Wegen der allmählichen Erhitzung, des die Experimentirflamme umgebenden Apparats erlitt die Temperatur und folglich die Helligkeit der letzteren eine allmähliche und nicht unerhebliche Steigerung, welche etwa eine Stunde anhielt, wo dann die Leuchtkraft vollkommen constant ward. Sobald diese Constanz erreicht war, wurden 20 Beobachtungen über die Leuchtkraft angestellt. Darauf liefs man den Druck in *F* bis zu dem Punkt steigen, bei welchem die nächsten Beobachtungen gemacht werden sollten. Man ajustirte den Gasverbrauch wieder sorgfältig auf stündlich 0,65 Kubikfufs und machte abermals 20 photometrische Beobachtungen. Aehn-

liche Beobachtungsreihen bei höherem Druck bis hinauf zum vollen Druck der Atmosphäre vervollständigten die Untersuchung.

In den folgenden Tafeln ist die Leuchtkraft der Normalflamme gleich 100 angenommen, während die Zahlen in den verschiedenen Columnen die Helligkeit der Experimentirflamme, verglichen mit diesem Normalmaafs, vorstellen. Bei allen Beobachtungsreihen war der Gasverbrauch der Experimentirflamme stündlich 0,65 Kubikfufs, gemessen unter dem atmosphärischen Druck.

### Erste Reihe.

| No.<br>der Beob-<br>achtung | Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen die der Normalflamme<br>= 100. |     |      |      |      |        |
|-----------------------------|---|-----|------|------|------|--------|
|                             | Druck der Luft im Behälter. Zolle Quecksilber.                          |     |      |      |      |        |
|                             | 6,6   | 9,6 | 14,6 | 19,9 | 24,9 | 29,9   |
| 1                           | 1,0   | 6,4 | 24,2 | 63,4 | 90,2 | 119,9  |
| 2                           | 1,0   | 6,4 | 24,4 | 63,4 | 90,1 | 119,6  |
| 3                           | 1,1   | 6,5 | 24,1 | 63,1 | 90,0 | 119,3  |
| 4                           | 1,0   | 6,5 | 24,1 | 63,1 | 89,8 | 119,2  |
| 5                           | 1,1   | 6,5 | 24,1 | 63,3 | 90,4 | 119,5  |
| 6                           | 1,2   | 6,6 | 24,2 | 63,1 | 90,4 | 119,6  |
| 7                           | 1,2   | 6,5 | 24,2 | 63,2 | 90,2 | 119,4  |
| 8                           | 1,1   | 6,5 | 24,4 | 63,2 | 90,1 | 119,6  |
| 9                           | 1,2   | 6,4 | 24,4 | 63,4 | 90,1 | 119,5  |
| 10                          | 1,1   | 6,5 | 24,4 | 63,3 | 90,0 | 119,5  |
| 11                          | 1,1   | 6,5 | 24,1 | 63,5 | 89,8 | 119,7  |
| 12                          | 1,2   | 6,5 | 24,2 | 63,5 | 89,8 | 119,9  |
| 13                          | 1,1   | 6,6 | 24,2 | 63,6 | 89,7 | 120,2  |
| 14                          | 1,2   | 6,5 | 24,4 | 63,6 | 89,9 | 120,5  |
| 15                          | 1,1   | 6,5 | 24,3 | 63,8 | 90,0 | 120,6  |
| 16                          | 1,0   | 6,5 | 24,2 | 64,0 | 90,0 | 120,6  |
| 17                          | 1,1   | 6,4 | 24,1 | 64,1 | 89,8 | 120,7  |
| 18                          | 1,1   | 6,5 | 24,1 | 64,0 | 89,7 | 120,7  |
| 19                          | 1,0   | 6,5 | 24,2 | 63,8 | 89,9 | 120,8  |
| 20                          | 1,1   | 6,5 | 24,1 | 63,8 | 90,0 | 120,6  |
| Mittel                      | 1,10  | 6,5 | 24,2 | 63,5 | 90,0 | 119,97 |

## Zweite Reihe.

Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen die der Normflamme = 100.

| No.<br>der Beob-<br>achtung | Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen die der Normalflamme = 100. |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|-----------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
|                             | Druck der Luft im Behälter. Zolle Quecksilber.                       |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |
|                             | 10,2   | 12,2 | 14,2 | 16,2 | 18,2 | 20,2 | 22,2 | 24,2 | 26,2 | 28,2  | 30,2  |
| 1                           | 4,3  | 14,6 | 23,6 | 35,1 | 44,0 | 56,8 | 72,9 | 86,3 | 95,6 | 108,1 | 117,5 |
| 2                           | 4,2  | 14,6 | 23,7 | 35,1 | 44,2 | 56,8 | 72,9 | 86,3 | 95,5 | 108,1 | 117,5 |
| 3                           | 4,3  | 14,6 | 23,7 | 35,1 | 44,2 | 56,5 | 72,9 | 86,3 | 95,5 | 108,6 | 118,4 |
| 4                           | 4,3  | 14,6 | 23,6 | 34,9 | 44,2 | 56,8 | 72,9 | 86,8 | 95,4 | 108,6 | 118,4 |
| 5                           | 4,2  | 15,0 | 23,6 | 35,1 | 44,2 | 56,5 | 72,6 | 86,8 | 95,1 | 108,1 | 118,4 |
| 6                           | 4,3  | 15,0 | 23,6 | 34,9 | 44,2 | 56,5 | 72,9 | 87,1 | 95,5 | 109,0 | 118,4 |
| 7                           | 4,2  | 15,0 | 23,7 | 35,1 | 44,0 | 56,8 | 72,6 | 87,1 | 95,7 | 109,0 | 118,4 |
| 8                           | 4,3  | 15,0 | 23,7 | 34,9 | 44,0 | 56,8 | 72,9 | 87,1 | 95,9 | 109,5 | 118,8 |
| 9                           | 4,2  | 15,0 | 23,7 | 34,9 | 44,2 | 56,8 | 73,2 | 86,8 | 95,8 | 109,0 | 118,8 |
| 10                          | 4,3  | 15,0 | 23,5 | 34,7 | 44,2 | 57,0 | 73,2 | 86,8 | 95,8 | 109,5 | 119,4 |
| 11                          | 4,2  | 14,9 | 23,5 | 34,7 | 44,2 | 57,0 | 72,9 | 86,8 | 95,9 | 108,6 | 119,4 |
| 12                          | 4,2  | 14,9 | 23,6 | 34,7 | 44,4 | 56,8 | 72,9 | 86,8 | 95,9 | 108,6 | 119,4 |
| 13                          | 4,3  | 15,0 | 23,7 | 34,9 | 44,4 | 56,8 | 72,9 | 87,1 | 95,9 | 108,1 | 119,9 |
| 14                          | 4,3  | 15,0 | 23,6 | 34,7 | 44,6 | 57,0 | 73,2 | 87,1 | 96,0 | 108,1 | 119,9 |
| 15                          | 4,2  | 15,0 | 23,7 | 34,9 | 44,6 | 56,8 | 72,9 | 87,1 | 95,9 | 108,6 | 119,4 |
| 16                          | 4,2  | 15,0 | 23,6 | 35,1 | 44,6 | 57,0 | 72,2 | 86,8 | 95,7 | 109,0 | 119,4 |
| 17                          | 4,3  | 15,0 | 23,5 | 35,1 | 44,6 | 56,8 | 72,6 | 87,1 | 95,7 | 108,6 | 118,8 |
| 18                          | 4,3  | 15,0 | 23,5 | 34,9 | 44,4 | 56,8 | 72,9 | 86,8 | 95,9 | 108,6 | 118,4 |
| 19                          | 4,3  | 14,9 | 23,6 | 34,9 | 44,6 | 57,0 | 73,2 | 86,8 | 95,6 | 108,1 | 118,4 |
| 20                          | 4,3  | 15,0 | 23,5 | 34,9 | 44,6 | 56,8 | 73,2 | 87,1 | 95,9 | 108,6 | 117,5 |
| Mittel                      | 4,3  | 14,9 | 23,6 | 34,9 | 44,4 | 56,8 | 72,9 | 86,8 | 95,7 | 108,6 | 118,8 |

Um diese beiden Beobachtungsreihen in directeren Vergleich mit einander und den folgenden Bestimmungen zu bringen, wird es zweckmäßig seyn, die mittleren beobachteten Zahlen zu reduciren auf eine normale Leuchtkraft, bei welcher das Licht unter dem Maximum-Druck, d. h. dem vollen Druck der Atmosphäre, gleich 100 gesetzt ist. Man erhält dann folgende Zahlen.

### Erste Reihe.

| Luftdruck im<br>Behälter.<br>Zolle<br>Quecksilber | Mittlere Leuchtkraft |          |
|---|----------------------|----------|
|   | beobachtet           | reducirt |
| 29,9  | 119,97               | 100,0    |
| 24,9  | 90,0                 | 75,0     |
| 19,9  | 63,5                 | 52,9     |
| 14,6  | 24,2                 | 20,2     |
| 9,6   | 6,5                  | 5,4      |
| 6,6   | 1,1                  | 0,9      |

### Zweite Reihe.

| Luftdruck im<br>Behälter.<br>Zolle<br>Quecksilber | Mittlere Leuchtkraft |          |
|---|----------------------|----------|
|   | beobachtet           | reducirt |
| 30,2  | 118,8                | 100,0    |
| 28,2  | 108,6                | 91,4     |
| 26,2  | 95,7                 | 80,6     |
| 24,2  | 83,8                 | 73,0     |
| 22,2  | 72,9                 | 61,4     |
| 20,2  | 56,8                 | 47,8     |
| 18,2  | 44,4                 | 37,4     |
| 16,2  | 34,9                 | 29,4     |
| 14,2  | 23,6                 | 19,8     |
| 12,2  | 14,9                 | 12,5     |
| 10,2  | 4,3                  | 3,6      |

Diese Zahlen zeigen, daß selbst die natürlichen Schwankungen des atmosphärischen Drucks eine Veränderung in der von Gasflammen ausgesandten Lichtmenge bewirken; und da eine solche Veränderung aus technischem Gesichtspunkt von Interesse ist, so schien es mir wichtig genug,

eine besondere Reihe von Beobachtungen innerhalb oder nahe innerhalb der gewöhnlichen Schwankungen des Barometerstandes zu unternehmen. Um hiebei eine grössere Empfindlichkeit in den Ablesungen des Drucks zu erlangen wurde der Quecksilbermanometer durch ein Wassermanometer ersetzt, dessen Angaben jedoch bei den folgenden Resultaten in Zolle Quecksilber verwandelt worden sind.

### Dritte Reihe.

| No.<br>der Beob-<br>achtung | Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen die der Normal-<br>flamme = 100. |      |      |      |
|-----------------------------|---|------|------|------|
|                             | Druck der Luft im Behälter. Zolle Quecksilber                             |      |      |      |
|                             | 27,2  | 28,2 | 29,2 | 30,2 |
| 1                           | 70,1  | 75,5 | 77,8 | 83,7 |
| 2                           | 70,1  | 74,5 | 77,8 | 84,1 |
| 3                           | 70,4  | 73,8 | 78,8 | 84,1 |
| 4                           | 70,1  | 73,8 | 79,9 | 83,7 |
| 5                           | 70,1  | 73,8 | 77,8 | 83,7 |
| 6                           | 70,4  | 74,2 | 77,8 | 83,7 |
| 7                           | 70,1  | 73,8 | 77,8 | 83,4 |
| 8                           | 70,1  | 74,2 | 77,8 | 83,4 |
| 9                           | 70,4  | 74,5 | 80,2 | 83,4 |
| 10                          | 70,1  | 74,5 | 80,2 | 83,4 |
| 11                          | 70,1  | 74,8 | 79,8 | 83,0 |
| 12                          | 70,4  | 74,8 | 79,2 | 83,0 |
| 13                          | 70,1  | 74,5 | 80,5 | 82,7 |
| 14                          | 70,4  | 74,8 | 78,8 | 83,0 |
| 15                          | 70,4  | 75,5 | 79,8 | 82,7 |
| 16                          | 70,2  | 75,5 | 79,8 | 83,0 |
| 17                          | 70,1  | 75,5 | 78,8 | 83,0 |
| 18                          | 70,7  | 75,5 | 80,2 | 83,4 |
| 19                          | 70,7  | 75,5 | 79,8 | 83,4 |
| 20                          | 70,7  | 75,1 | 80,5 | 83,7 |
| Mittel                      | 70,3  | 74,7 | 79,2 | 83,4 |

Reducirt man die Mittelwerthe dieser Resultate, wie zuvor, auf das Maximum Standmaafs von 100, so erhält man folgende Zahlen.

Man erhält also die folgenden Zahlen, wenn man die Mittelwerthe der Beobachtungen auf das Maximum Standmaafs von 100 reducirt. Diese Zahlen zeigen, dass die Leuchtkraft der Flamme bei einem Druck von 70,3 Zollen Quecksilber am stärksten ist, und dass sie bei einem Druck von 74,7 Zollen am schwächsten ist. Die Leuchtkraft der Flamme bei einem Druck von 79,2 Zollen ist die Hälfte der Leuchtkraft bei einem Druck von 70,3 Zollen.

## Dritte Reihe.

| Luftdruck im<br>Behälter.<br>Zoll<br>Quecksilber | Mittlere Leuchtkraft |          |
|--|----------------------|----------|
|  | beobachtet           | reducirt |
| 30,2   | 83,4                 | 100,0    |
| 29,2   | 79,2                 | 95,0     |
| 28,2   | 74,7                 | 89,6     |
| 27,2   | 70,3                 | 84,3     |

Hieraus ist klar, daß die Verbrennung einer Gasmenge, die beim Barometerstand von 30 Zoll so viel Licht giebt als 100 Kerzen, nur dem Licht von 84,3 Kerzen gleich kommt, wenn das Barometer auf 28 Zoll steht. Eine solche Veränderung in der Helligkeit der Gasflammen mit den Schwankungen des Barometers muß offenbar der gewöhnlichen Bestimmungsweise der Leuchtkraft des Gases entgegen, in sofern das Normallicht, mit welchem die Gasflamme verglichen wird, auch demselben Einfluß unterworfen ist. Obgleich also das relative Licht des Gases verglichen mit dem von Kerzen fast oder ganz unverändert bleiben kann, hängt doch der absolute Leuchtwert desselben sehr ab von dem Barometerstand am Orte, wo es brennt. Eine Gasmenge, welche in London ein Licht gleich dem von 100 Kerzen liefert, würde, in München verbrannt, nur eine Leuchtwirkung von wenig mehr als 91 Kerzen geben; und zur Beleuchtung der Stadt Mexico verwandt, würde ihre Helligkeit auf die von 61,5 Kerzen herabsinken. Diese Zahlen sind unabhängig von der Volumsveränderung durch Verminderung des Drucks. Wenn man gleiche Volume desselben Gases in London und Mexico verbrennte, würden die Leuchtwirkungen sich wie 100 : 46,2 verhalten, gleiche Temperaturen an beiden Orten vorausgesetzt.

Aus dem Anblick der obigen drei Beobachtungsreihen erhellt die Thatsache, daß die Verdünnung der Luft vom atmosphärischem Drucke abwärts eine gleichförmige Lichtverminderung hervorbringt bis der Druck auf etwa 14 Zoll Quecksilber gesunken ist, unterhalb welcher Gränze die

Leuchtkraft in einem weniger raschen Gange abnimmt. Diese Gleichförmigkeit der Relation zwischen Druck und Helligkeit wird deutlicher ersichtlich aus den Fig. 1 und 2 Taf. III, in denen die Helligkeit durch die Ordinaten, und der Druck durch die Abscissen, gemessen vom Anfang *B*, vorgestellt ist. Wenn daher die Helligkeit einfach dem Druck proportional wäre, würden die Helligkeitscurven zusammenfallen mit der in Fig. 1 von *A* nach *B* gezogenen Diagonale. Insofern aber die Lichtschwächung rascher als die Druckverminderung ist, fallen die Linien *AC* und *AD*, welche die experimentellen Resultate der ersten und zweiten Beobachtungsreihe repräsentiren, zwischen die Diagonale und die dem Punkte *A* entsprechende Ordinate. Die Fig. 2 Taf. III zeigt die Resultate der dritten Beobachtungsreihe, wobei, um es möglichst deutlich zu machen, nur derjenige Theil des Quadrats gegeben ist, durch welchen die experimentelle Linie *AB* geht. Die Linie *AC* in Fig. 1 Taf. III repräsentirt die mittleren Resultate der ersten Beobachtungsreihe, und die Linie *AD* die der zweiten. Aus einem Blick auf beide Reihen ersieht man, daß die Linien nicht nur nahe coincidiren, sondern auch, daß sie, bis herab zu 14 Zoll, nicht sehr von einer geraden Linie abweichen. Diefs entspringt offenbar aus einer gleichen oder fast gleichen Licht-Abnahme für jede gleiche Druck-Abnahme bis herab zu 14 Zoll, unter welchem Druck beide Linien merklich von ihrer früheren Richtung abweichen, zum Beweise einer Aenderung in dem Gange der Helligkeitsverminderung. Die mittleren Resultate der drei Beobachtungsreihen geben annähernd 5,1 Proc. der Helligkeit bei 30 Zoll Druck als Licht-Abnahme für jede Druckverminderung von einem Zoll Quecksilber bis herab zu 14 Zoll. Die folgenden Tafeln zeigen die wirklich beobachtete Leuchtkraft, verglichen mit der aus dieser Constanten berechneten.

erhöht die Helligkeit, daß die Verminderung der Luft von einem atmosphärischen Drucke abwärts eine gleichmäßige Lichtverminderung hervorbringt bis der Druck auf einen 14 Zoll Quecksilber gesunken ist, unterhalb welcher Constante die

len  
halb  
nirg  
ab  
erw  
flam  
silb  
Lich  
in  
wer  
silb  
Po



| Druck.<br>Zolle Queck-<br>silber | Leuchtkraft |           |
|----------------------------------|-------------|-----------|
|                                  | beobachtet  | berechnet |
| <b>Erste Reihe.</b>              |             |           |
| 29,9                             | 100         | 100       |
| 24,9                             | 75,0        | 74,5      |
| 19,9                             | 52,9        | 49,0      |
| 14,6                             | 20,2        | 22,0      |
| 9,6                              | 5,4         | — 3,5     |
| 6,6                              | 0,9         | — 18,8    |
| <b>Zweite Reihe.</b>             |             |           |
| 30,2                             | 100         | 100       |
| 28,2                             | 91,4        | 89,8      |
| 26,2                             | 80,6        | 79,6      |
| 24,2                             | 73,0        | 69,4      |
| 22,2                             | 61,4        | 59,2      |
| 20,2                             | 47,8        | 49,0      |
| 18,2                             | 37,4        | 38,8      |
| 16,2                             | 29,4        | 28,6      |
| 14,2                             | 19,8        | 18,4      |
| 12,2                             | 12,5        | 8,2       |
| 10,2                             | 3,6         | — 2,0     |
| <b>Dritte Reihe.</b>             |             |           |
| 30,2                             | 100         | 100       |
| 29,2                             | 95,0        | 94,9      |
| 28,2                             | 89,7        | 89,8      |
| 27,2                             | 84,4        | 84,7      |

Die punktirten Linien in den Fig. 1 und 2 Taf. III stellen die nach obigen Tafeln berechnete Helligkeit dar. Oberhalb 14 Zoll Druck weichen die experimentellen Linien nirgends in ihrem Laufe mehr von der berechneten Linie ab als nach den gewöhnlichen Fehlern der Versuche zu erwarten wäre. Das Gesetz der Lichtabnahme von Gasflammen durch Verringerung des Drucks von 30 Zoll Quecksilber bis 14 kann demnach so gefasst werden: Von 100 Licht-Einheiten, ausgesandt von einer Gasflamme, welche in Luft unter einem Druck von 30 Zoll Quecksilber brennt, werden durch jede Druckverminderung von einem Zoll Quecksilber 5,1 Einheiten ausgelöscht. Folglich ist die Schwä-

chung der Leuchtkraft direct proportional der Verringerung des atmosphärischen Drucks.

Es muß jedoch bemerkt werden, daß die obigen Bestimmungen die Constante 5,1 nur für diejenige Qualität von Gas feststellen, mit welcher die Versuche angestellt wurden. Es blieb noch zu untersuchen, ob eine Flamme von anders beschaffenem Gase auf dasselbe Abnahmeverhältniß zurückzuführen sey. Daher wurde eine vierte Reihe von Beobachtungen gemacht, und zwar mit einem in solchen Grade naphthalisirten Gase, daß es fast die doppelte Leuchtkraft besaß. Der Gasverbrauch der Experimentirflamme war wie zuvor 0,65 Kubikfuß stündlich. Es wurden folgende Resultate erhalten.

#### Vierte Reihe.

| No.<br>der Beob-<br>achtung | Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen die der Normalflamme<br>= 100. |      |       |       |       |        |
|-----------------------------|---|------|-------|-------|-------|--------|
|                             | Druck im Behälter. Zolle Quecksilber                                    |      |       |       |       |        |
|                             | 6,9   | 9,9  | 14,9  | 19,9  | 24,9  | 29,9   |
| 1                           | 1,0   | 7,3  | 28,0  | 55,6  | 85,3  | 114,0  |
| 2                           | 1,0   | 7,2  | 28,0  | 55,5  | 85,2  | 114,0  |
| 3                           | 1,1   | 7,2  | 28,1  | 55,6  | 85,2  | 114,1  |
| 4                           | 1,0   | 7,3  | 28,2  | 55,6  | 85,3  | 114,2  |
| 5                           | 1,0   | 7,5  | 28,1  | 55,8  | 85,3  | 114,5  |
| 6                           | 0,9   | 7,5  | 28,1  | 55,9  | 85,5  | 114,6  |
| 7                           | 0,9   | 7,2  | 28,2  | 55,8  | 85,6  | 114,8  |
| 8                           | 1,0   | 7,2  | 28,2  | 55,7  | 85,6  | 114,9  |
| 9                           | 0,9   | 7,2  | 28,1  | 55,9  | 85,5  | 115,1  |
| 10                          | 1,0   | 7,3  | 28,2  | 55,9  | 85,7  | 115,2  |
| 11                          | 1,1   | 7,4  | 28,3  | 55,5  | 85,4  | 115,2  |
| 12                          | 1,1   | 7,5  | 28,3  | 55,4  | 85,3  | 115,3  |
| 13                          | 0,9   | 7,5  | 28,3  | 55,5  | 85,7  | 115,5  |
| 14                          | 0,9   | 7,6  | 28,5  | 55,2  | 85,7  | 115,4  |
| 15                          | 0,9   | 7,5  | 28,3  | 55,3  | 85,5  | 115,4  |
| 16                          | 1,0   | 7,6  | 28,3  | 55,1  | 85,9  | 115,5  |
| 17                          | 1,0   | 7,6  | 28,4  | 55,2  | 85,0  | 115,5  |
| 18                          | 1,1   | 7,5  | 28,4  | 55,3  | 85,0  | 115,4  |
| 19                          | 1,1   | 7,5  | 28,5  | 55,3  | 85,0  | 115,2  |
| 20                          | 1,1   | 7,6  | 28,3  | 55,7  | 85,6  | 115,2  |
| Mittel                      | 1,00  | 7,42 | 28,24 | 55,54 | 85,58 | 114,95 |

Die folgende Tafel, aus der obigen berechnet, zeigt, daß diese Resultate vollkommen übereinstimmen mit denen, die mit nicht-naphthalisirtem Gase angestellt wurden, zum Beweise, daß der Gang der Helligkeitsabnahme in verdünnter Luft gleich ist für alle Kohlenwasserstoffgase von jeglicher Qualität. Die beiden letzten Columnen sind fast identisch bis herab zu 14,9 Zoll Druck.

| Luftdruck.<br>Zolle<br>Quecksilber | Mittlere Leuchtkraft. |          | Leuchtkraft<br>berechnet |
|------------------------------------|-----------------------|----------|--------------------------|
|                                    | beobachtet            | reducirt |                          |
| 29,9                               | 114,95                | 100      | 100                      |
| 24,9                               | 85,58                 | 74,4     | 74,5                     |
| 19,9                               | 55,54                 | 48,3     | 49,0                     |
| 14,9                               | 28,24                 | 24,5     | 23,5                     |
| 9,9                                | 7,42                  | 6,4      | — 2,0                    |
| 6,9                                | 1,02                  | 0,9      | — 17,3                   |

Diese Reihe wurde fortgesetzt bis herab zu 4,6 Zoll Druck; allein die Leuchtkraft der Flamme war dann nicht mehr durch das Photometer zu messen.

β. Einfluß der Zusammendrückung.

Die vorübergehenden Versuche haben bei Verringerung des Luftdrucks eine sehr merkwürdige Lichtabnahme an Kerzen- und Gasflammen dargethan; es war nun interessant den Einfluß der Verdichtung der Luft auf dieselben Flammen zu untersuchen. Beim Beginn dieser Untersuchung boten sich beträchtliche Schwierigkeiten dar, weil es zuvörderst nöthig ward ein gasförmiges Brennmaterial zu verlassen, da man dieses nicht ohne sehr complicirte Apparate in dem nöthigen Grade comprimiren und dann unter einem gleichförmigen Druck durch einen Brenner ausströmen lassen konnte. Ich wurde dadurch veranlaßt, zu starren oder flüssigen Brennmaterialien zu greifen, deren Unregelmäßigkeiten noch dadurch erhöht werden, daß die Verbrennungskammer nothwendig kleiner seyn muß, damit ihre Wände einen hohen Druck besser ertragen können. Diese Schwierigkeiten auf dem Wege genauer Bestimmungen sind indess

keineswegs die bedeutendsten, denn es zeigte sich bald, daß sowohl Kerzen- als Oelflammen bei einer irgend beträchtlichen Vergrößerung des atmosphärischen Drucks große Mengen von rufziger Materie austiefsen, deren Bildung sich durch keinen Luftzug verhindern liefs, den man in dem Schornstein des Apparats hervorbringen konnte. Obwohl nun die Helligkeit der Flammen bedeutend zunahm, so war doch diese Zunahme viel geringer, als es bei einer vollständigeren Verbrennung der Fall gewesen seyn würde. In der That leuchtete es alsbald ein, daß die Bestimmungen der Helligkeitszunahme durch Compression in einer Weise gemacht werden mußten, genau umgekehrt wie die, welche bei den entsprechenden Bestimmungen in verdünnter Luft angewandt wurde; denn während im letzteren Fall die Versuche mit Flammen gemacht wurden, die unter dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre mit kohligen Theilchen gesättigt waren, zeigte es sich im ersteren nothwendig mit Flammen anzufangen, welche bei gewöhnlichem Druck sehr schwach oder gar nicht leuchtend waren. Die Wirkung comprimierter Luft, eine Ausscheidung von Kohlentheilchen in der Flamme zu veranlassen, ist so groß, daß eine kleine Alkohollampe, welche unter gewöhnlichem Druck mit rein blauer Flamme brannte, stark leuchtend wurde, als man sie unter einem Druck von vier Atmosphären versetzte, und es ist kaum zu bezweifeln, daß sie unter einem Druck von fünf oder sechs Atmosphären eben so leuchten würde als Wallrath beim Brennen unter atmosphärischem Druck.

Der angewandte Apparat, welcher in Fig. 2 Taf. II abgebildet ist, war dem im ersten Theile dieser Untersuchung angewandten sehr ähnlich. *A* ist der Regulator, welcher den Zufluß des Gases zu der Normalflamme regulirt. *HH* ist das wie zuvor eingerichtete Photometer, und *aa* sind die Platten, Stäbe und Schrauben zum sicheren Verschluss der Enden des Glascyinders, welcher die Experimentirflamme enthält. Der verhältnißmäfsig dünne und weite Cylinder, der bei den Versuchen mit verdünnter Luft angewandt ward, war hier ersetzt durch einen starken Glas-

cylinder *D* von 12 Zoll Länge, 2 Zoll innerem Durchmesser und  $\frac{5}{8}$  Zoll Wanddicke. *e* ist die Lampe, welche die Experimentirflamme liefert; sie steht auf einem Stabe *l*, welcher durch eine Stopfbüchse in der Bodenplatte geht und mittelst dieser in jede Höhe gestellt werden kann. *b* und *c* sind Glasschornstein und Hahn, eingerichtet wie zuvor, ausgenommen dafs *c* sich auf einmal in freie Luft öffnet. Das Innere von *D* ist durch die Röhre *i* mit dem Druckmesser *G* verknüpft, während der Hahn *d* durch die Röhre *f* mit dem Behälter *F* der comprimirtten Luft communicirt. *E* ist eine Druckpumpe, die durch die Röhre *K* mit *F* in Gemeinschaft steht. Durch die Einschaltung des Behälters *F* liefs sich in dem Cylinder *D* ein sehr constanter Druck unterhalten.

Die Versuche wurden in folgender Weise gemacht. Nachdem der Deckel *a* abgenommen und *F* mit comprimirtter Luft beladen worden, wurde durch den Hahn *d* ein schwacher Luftstrom in *D* geleitet. Dann wurde die Lampe *e* angezündet, und, während der Hahn *c* ganz offen war, der Deckel *a* fest aufgeschraubt. Die Zulassung der Luft durch *d* wurde nun so regulirt, dafs in dem Schornstein *b* der zur Erlangung eines Lichtmaximums der Experimentirflamme erforderliche Grad von Luftzug hervorgebracht ward. Nachdem die Flamme etwa eine halbe Stunde gebrannt hatte, so dafs das umgebende Glas auf eine Temperatur gelangt war, die späterhin einigermassen constant blieb, wurde eine Reihe photometrischer Beobachtungen gemacht. Der Austritt der Luft durch den Hahn *c* wurde langsam vermindert, während *d* ganz offen war, um eine freie Communication oder folglich eine Druckgleichheit zwischen dem Behälter *F* und dem Cylinder *D* herzustellen. Der vom Manometer *G* angezeigte Druck wurde nun durch mehr oder weniger rasches Arbeiten an der Pumpe *E* so ajustirt, als zu der nächsten Beobachtungsreihe erforderlich war. In Praxis wurde es für unmöglich befunden, mit derselben Flüssigkeit in der Lampe irgend eine Beobachtungsreihe über eine gröfsere Strecke als eine Atmosphäre auszudehnen, weil

die Experimentirflamme unter höherem Druck zu rufen anfang, wenn sie unter niederem eine meßbare Leuchtkraft besafs.

Wegen der oben erwähnten Schwierigkeiten, bin ich nur im Stande gewesen zwischen einer und zwei Atmosphären genügende Bestimmungen zu erhalten. Bei diesen Bestimmungen wurde die Lampe mit Amylalkohol gespeist, einer Flüssigkeit, welche, während sie unter dem Druck von einer Atmosphäre eine wahrnehmbare Lichtmenge in der Experimentirflamme lieferte, unter zwei Atmosphären ohne Ruß brannte, obgleich sie unter etwas höherem Druck unverbrannte Kohle abzuschneiden begann. Es wurden folgende Resultate erhalten.

| No.<br>der Beob-<br>achtung | Leuchtkraft der Experimentirflamme gegen<br>die der Normalflamme = 100. |      |      |
|-----------------------------|---|------|------|
|                             | Druck im Behälter. Zolle Quecksilber                                    |      |      |
|                             | 29,7  | 59,7 | 59,5 |
| 1                           | 21,0  | 55,6 | 55,3 |
| 2                           | 21,0  | 56,2 | 55,4 |
| 3                           | 21,2  | 56,3 | 55,3 |
| 4                           | 21,1  | 56,3 | 55,4 |
| 5                           | 21,2  | 56,1 | 55,4 |
| 6                           | 21,1  | 56,0 | 55,3 |
| 7                           | 21,2  | 56,0 | 55,4 |
| 8                           | 21,5  | 55,9 | 55,5 |
| 9                           | 21,6  | 55,6 | 55,5 |
| 10                          | 21,6  | 55,4 | 55,5 |
| 11                          | 21,0  | 55,4 | 55,3 |
| Mittel                      | 21,2  | 55,9 | 55,4 |

Die Zahlen nähern sich den berechneten in Uebereinstimmung mit dem für geringen Druck als den der Atmosphäre gegebenen Gesetz, somit dieses Gesetz bis zu zwei Atmosphären bestätigend, wie aus folgendem Vergleich zu ersehen, worin die beobachteten Zahlen auf das Standmaafs 100 unter atmosphärischem Druck reducirt sind.

| Druck            | Leuchtkraft |           |
|------------------|-------------|-----------|
|                  | beobachtet  | berechnet |
| 1 Atmosphäre     | 100         | 100       |
| 2 Atmosphären I  | 263,7       | 253       |
| 2 Atmosphären II | 261,3       | 253       |

Fernere Bestimmungen, durch welche die Leuchtkraft bei drei und vier Atmosphären verglichen ward, lieferten weit von diesem Gesetze abweichende Resultate, ergaben nämlich eine viel raschere Lichtzunahme; allein, da die Veranlassung zu Beobachtungsfehlern bei diesen höheren Drucken sehr anwächst, so lege ich sehr wenig Vertrauen auf diese Zahlen, welche ich dessenungeachtet hier in derselben Form wie in der letzten Tafel angebe. Bei diesen Versuchen war die Lampe gefüllt mit einer Mischung von fünf Theilen Wein-Alkohol und einem Theil Amylalkohol. Mit dieser Mischung gefüllt, besaß die Flamme unter gewöhnlichem Luftdruck keine wahrnehmbare Leuchtkraft.

| Druck         | Leuchtkraft |           |
|---------------|-------------|-----------|
|               | beobachtet  | berechnet |
| 3 Atmosphären | 409         | 406       |
| 4 Atmosphären | 959         | 559       |

Beim Bestreben, die Ursachen dieser Helligkeitsveränderungen nachzuweisen, wird es zweckmäfsig seyn, zunächst die allgemeinen Bedingungen zu betrachten, von welchen das Licht von Flammen abhängt. Die Helligkeit der Flammen, die insgemein als künstliche Lichtquellen benutzt werden, entspringt aus zwei Ursachen, nämlich erstens aus dem Glühen kleiner, in der Hülle der Flamme schwebender Kohlentheilchen, und zweitens aus dem Glühen der gasigen Stoffe. Die letztere Helligkeitsquelle liefert insgemein wahrscheinlich nicht mehr als ein Procent der gesammten Lichtmenge; folglich entspringt fast die Gesamtheit des unter gewöhnlichen Umständen von Flammen ge-



lieferten Lichts, wie H. Davy zuerst ausgesprochen<sup>1)</sup> aus dem Glühen solider kohligter Stoffe. Bei sehr niedrigen Drucken wird jedoch das von den glühenden Gastheilen ausgesandte Licht vorwaltender, und da dieses Licht nicht wesentlich vom Druck beeinflusst wird, so bewirkt es die Abweichung von dem Gesetz der Lichtschwächung, welche aus den unteren Enden der Linien *AC* und *AD* Fig. 1 Taf. III ersichtlich ist.

Um einen klaren Begriff von dem Mechanismus einer Kerzen- oder Gasflamme zu erlangen, müssen wir uns denken: erstens einen Kern von Gas oder Dampf, welcher Kohlenwasserstoffe enthält, und zweitens eine Hülle von glühender Materie, die dicht an ihrer Außenseite von atmosphärischer Luft umgeben ist. Der beständige Zufluss von Gas oder Dampf zu dem Kern zwingt den Inhalt desselben die glühende Hülle zu durchbrechen, an deren inneren Wand diejenigen Kohlenwasserstoffe, welche nicht in einer hellen Rothgluth existiren können, entweder eine Zersetzung in leichten Kohlenstoff und freie Kohle erleiden, oder eine unvollkommene Verbrennung zu Wasser, Kohlenoxyd und freier Kohle erfahren, oder endlich eine vollkommene Verbrennung zu Wasser, Kohlenoxyd und selbst Kohlensäure, ohne Abscheidung freier Kohle. Die Natur der Zersetzung oder Verbrennung, welche diese Kohlenwasserstoffe erleiden, wenn sie mit der glühenden Hülle in Berührung kommen, hängt sonach offenbar ab von der Sauerstoffmenge, welche zu dem Innern der Hülle Zutritt erlangt; ist diese Menge unzulänglich, den gesammten Kohlenstoff in Kohlenoxyd zu verwandeln, so wird der Rückstand gefällt und die Flamme wird eine mehr oder weniger leuchtende; wogegen, wenn die vorhandene Sauerstoffmenge hinreichend ist, nach der Verbrennung des Wasserstoffs, den gesammten Kohlenstoff in Kohlensäure oder auch nur in Kohlenoxyd überzuführen, kein Licht aus dem Glühen von Kohlentheilchen erzeugt wird.

Nun ist wohl bekannt, dass das Licht jeder Flamme

1) *Philosph. Transact.* 1817 p. 64.

verstärkt werden kann, wenn die Zahl der gleichzeitig in denselben schwebenden Kohlentheilchen vergrößert wird, vorausgesetzt, daß diese Theilchen verzehrt werden, bevor sie die Flamme verlassen, und nicht als Ruß entweichen. Ich habe auch anderswo gezeigt <sup>1)</sup>, daß das Licht von Gasflammen, und ohne Zweifel auch das von Kerzen und Oel, sehr abhängt von der Hitze der Flamme. Die Temperaturerhöhung, welche durch bloßes Erhitzen der einen Gaslampe zugeführten Luft mittelst der großen Hitze der Flamme selbst hervorgebracht wird, ist hinreichend das Licht um 67 Procent zu verstärken, ohne daß mehr Gas verzehrt wird. Sind nun solches die nothwendigen Bedingungen zur *Verstärkung des Lichts*, so braucht kaum hinzugesetzt zu werden, daß die umgekehrten Umstände, nämlich Abnahme der gleichzeitig in der Flamme vorhandenen Kohlentheilchen, unvollkommene Verbrennung, die ein Entweichen unverbrannter Kohle gestattet, und Abnahme der Temperatur in der Flamme, eine verringerte Helligkeit zur Folge haben.

Eine der ersten Ursachen, welche sich natürlich darbietet, um die Lichtverminderung bei abnehmendem atmosphärischem Druck zu erklären, ist die verringerte Sauerstoffmenge in einem gegebenen Volum des (die Verbrennung) unterhaltenden Mediums, welche die Verbrennung unvollkommen macht und dadurch entweder ein Entweichen unverbrannter Kohlentheilchen veranlaßt oder ihre Verwandlung in Kohlenoxyd, statt in Kohlensäure herbeiführt. Der Effect des ersten Falls wäre eine directe Verminderung der Helligkeit, während der zweite die Wirkung hätte, das Licht indirect zu schwächen durch Verringerung der Temperatur der Flamme. Eine sorgfältige Betrachtung einer Gas- oder Kerzenflamme, die in einer allmählich verdünnten Atmosphäre brennt, liefert nicht die geringste Anzeige von Rauch oder von erhöhter Tendenz russige Stoffe auszuschcheiden; im Gegentheil, die Neigung zu rauchen nimmt offenbar mit fortschreitender Verdünnung ab, während andererseits durch

1) *Ure's Dictionary* 1860, Article »Coalgas.«

die Thatsache, daß mit einer Erhöhung des Drucks über den der Atmosphäre hinaus die ruflosesten Flammen rufsig werden, die Annahme äußerst unhaltbar wird, als sey das Entweichen unverbraunter Kohle eine der Ursachen der verminderten Helligkeit in verdünnten Atmosphären. Ob dabei insofern eine unvollkommene Verbrennung stattfindet, daß Kohlenoxyd statt Kohlensäure entweiche, läßt sich nicht entscheiden und erfordert eine eigene Untersuchung. In der That, die allmähliche Verschiebung des leuchtenden Theils der Flamme durch das eigenthümliche Blau des Kohlenoxyds deutet auf eine vermehrte Erzeugung dieses Gases und giebt folglich der Voraussetzung einigen Halt, daß es unverbraunt entweiche und damit die Temperatur der Flamme erniedrige.

Um diesen Punkt zu entscheiden, sammelte ich Proben von den Gasen, die aus dem Schornstein b, Fig. 1 Taf. II, der Experimentirflamme entweichen. Diese Flamme war hierbei die einer Wallrathkerze, die erst unter dem atmosphärischen Druck und dann unter dem Druck von nur 8 Zoll Quecksilber brannte. Die Gase wurden erstlich, zur Absorption der Kohlensäure, mit ätzendem Kali behandelt, dann mit einem gleichen Volum von elektrolytischem Wassergase verpufft und darauf mit einem Ueberschuß von Wasserstoffgas. Die Verpuffung mit dem Wassergase bewirkte keine Contraction, zum Beweise der Abwesenheit von Kohlenoxyd. Es wurden folgende Zahlen erhalten:

I. Gase von der unter atmosphärischem Druck brennenden Kerze.

|   | Gasvolumen | Temperatur |
|---|------------|------------|
| Angewandtes Gas                           | 256,0      | 7°,0 C.    |
| Nach Absorption der Kohlensäure           | 238,1      | 7,0        |
| Nach Verpuffung mit elektrolytischem Gase | 238,0      | 7,0        |
| Nach Zumischung von Wasserstoffgas        | 373,7      | 7,0        |
| Nach Verpuffung                           | 283,6      | 7,0        |

II. Gase von der unter 8 Zoll Quecksilber brennenden Kerze.

|   | Gasvolumen | Temperatur |
|---|------------|------------|
| Angewandtes Gas                           | 290,8      | 7°,1 C.    |
| Nach Absorption der Kohlensäure           | 267,2      | 7,1        |
| Nach Verpuffung mit elektrolytischem Gase | 267,3      | 7,1        |
| Nach Zumischung von Wasserstoffgas        | 457,8      | 7,1        |
| Nach Verpuffung                           | 367,9      | 7,1        |

Diese Zahlen geben folgende procentische Zusammensetzung der beiden Gasproben:

|             |               |               |
|-------------|---------------|---------------|
| Stickstoff  | 81,28         | 81,58         |
| Sauerstoff  | 11,73         | 10,30         |
| Kohlensäure | 6,99          | 8,12          |
| Kohlenoxyd  | 0,00          | 0,00          |
|             | <u>100,00</u> | <u>100,00</u> |

Diese Resultate beweisen, daß in beiden Fällen kein Entweichen von unverbranntem Brennmaterial stattfand, und daß folglich die *Lichtschwächung in verdünnten Atmosphären nicht von irgend einer unvollkommenen Verbrennung herrührt.*

Zusammengenommen mit den Versuchen in verdichteter Luft, in welcher die unvollkommene Verbrennung, begleitet von der Ausscheidung rufziger Materie sehr hervortretend war, führen diese Data zu dem merkwürdigen Schlufs, daß *Zusammendrückung der Luft die Verbrennung gasiger Stoffe weniger vollkommen macht*, und daß, wenigstens innerhalb gewisser Gränzen, *die Verbrennung einer Flamme desto vollkommener ist, je lockerer die Atmosphäre, in welcher sie brennt.*

Sonach ist klar, nicht nur daß keine Lichtschwächung aus unvollkommener Verbrennung in verdünnten Atmosphären entspringen kann, sondern auch daß keine Temperaturerniedrigung aus derselben Ursache herzustammen vermag.

Eine andere Ursache der Schwächung des Lichts bei Verbrennung in verdünnten Atmosphären und der Verstärkung desselben bei Verbrennung in verdichteten könnte in einem etwaigen Unterschiede der Temperatur der Flamme in beiden Fällen gesucht werden. Es ist wohl bekannt, daß, wenn man Luft aus einem Gefäfs in ein Vacuum entweichen läfst, eine bedeutende Temperatursenkung in dem Gefäße erfolgt, aus welcher sie entweicht; und insofern die gasigen Verbrennungsproducte ein größeres Volum in verdünnten Atmosphären einnehmen als in verdichteten, kann es kaum bezweifelt werden, daß der pyrometrische Wärme-Effect einer Flamme bis zu einem gewissen Grade

verringert werden muß durch Verdünnung des Mediums, in welchem sie brennt; deßungeachtet kann dieser Effect fast oder ganz neutralisirt werden, durch die geringere Erkaltung, welche die verdünnte Atmosphäre verursacht.

Um diesen Punkt aufzuhellen, wurde eine Spirale von Platindraht in einer Wasserstoffflamme bis zur sichtbaren Röthgluth erhitzt; als darauf die Luft rings um die Flamme und den Draht erhitzt wurde, konnte keine merkliche Veränderung in der Temperatur des Platins wahrgenommen werden. Ein ähnlicher Versuch wurde mit einer Alkoholflamme gemacht, und mit demselben Erfolg. Eine Spirale von Platindraht wurde unter die Glocke einer Luftpumpe gebracht und durch einen Volta'schen Strom in sichtbare Rothgluth versetzt; als darauf die Glocke ausgepumpt ward, steigerte sich das Glühen des Platins allmählich fast bis zur Weißgluth. Bei Wiederhineinlassen von Luft, sank es auf dunkle Rothgluth herab, zum Beweise, daß die erkaltende Wirkung der verdünnten Luft viel schwächer ist als die der Luft unter gewöhnlichem Druck. Während sonach die innerhalb einer gegebenen Flamme erzeugte Temperatur durch Verdünnung erniedrigt wird, hindert derselbe Proceß das Entweichen der Wärme nach außerhalb; das scheinbare Resultat ist also, daß die wirkliche Temperatur der Flamme nur wenig Veränderung erleidet, und so bestätigt sich H. Davy's Schluß, daß *Verdünnung und Verdichtung, wenigstens innerhalb gewisser Gränzen, keinen bedeutenden Einfluss auf die Hitze der Flamme ausüben.*

Ogleich eine Untersuchung über zwei der möglichen Ursachen der Lichtabnahme bei Verbrennung in verdünnten Atmosphären sonach keine Erklärung des Phänomens geliefert hat; so weist doch eine derselben indirect auf das hin, was, glaube ich, die Veränderung der Leuchtkraft bedingt. Wenn es wahr ist, daß die Verbrennung in lockeren Atmosphären vollständiger ist als in dichteren, so folgt, daß das Licht einer rauchlosen Flamme abnehmen muß mit einer Verminderung des Drucks, weil bei einer vollkommeneren

Ver  
jede  
Flam  
eine  
Tha  
For  
tun  
Be  
Hel  
stof  
lent  
also  
Sau  
die  
selb  
und  
Lich  
All  
bre  
die  
Luft  
erw  
Um  
füh  
von  
her  
wel  
mis  
Um  
ver  
Dr  
ein  
grö  
ein  
ein  
ren  
Ko

Verbrennung, d. h. bei freierem Zutritt des Sauerstoffs zu jedem Theil der Flamme, eine Abnahme der innerhalb der Flamme ausgeschiedenen, unverbrannten Kohle und folglich eine verringerte Lichtentwicklung stattfinden muß. In der That, das Ansehen der Experimentirflamme während des Fortschritts der Verdünnung einerseits und der Verdichtung andererseits kann schwerlich einen Zweifel bei dem Beobachter darüber hinterlassen, daß die Veränderung der Helligkeit wesentlich abhängt von der Zulassung des Sauerstoffs zu demjenigen Theil der Flammenhülle, wo die Kohlentheilchen für gewöhnlich ausgeschieden werden, und wo also die Helligkeit ihren Sitz hat. Daß Zulassung von Sauerstoff oder Luft zu dem Innern einer leuchtenden Flamme die Helligkeit derselben bedeutend vermindert und practisch selbst vernichtet, ist längst bekannt und bei den Drahtnetz- und Bunschen'schen Brennern, worin Hitze und nicht Licht der Zweck der Gasverbrennung ist, sogar benutzt. Allein es läßt sich fragen: Welche Umstände bei der Verbrennung einer Flamme in verdünnter Luft es dann seyen, die den Eintritt einer größeren als der gewöhnlichen Menge Luft in das Innere der Flamme begünstigen? Hierauf kann erwiedert werden, daß es bei solcher Verbrennung zwei Umstände giebt, die beide direct dieses Resultat herbeizuführen trachten. Der erste dieser Umstände und derjenige, von welchem meiner Meinung nach fast der ganze Effect herrührt, ist die größere Beweglichkeit der *verdünnten* Gase, welche die Flammengase rascher mit der äußeren Luft vermischen muß als es sonst geschehen würde. Der zweite Umstand ist die allmähliche, wenn auch langsame Volumsvergrößerung der Flamme bei Abnahme des atmosphärischen Drucks, wodurch die Flamme allmählich der äußeren Luft eine größere Berührungsfläche darbietet. Die Volumvergrößerung der Flamme bei verminderten Druck ist bei einer Wallrathkerze auffallender sichtbar als bei Gas. Wenn eine solche Kerze unter einem Druck von zwei Atmosphären brennt, zeigt ihre Flamme das Ansehen einer scharfen Kornähre (*spike*), kaum von einem Viertelzoll im Durch-

messer an ihrem unteren und breitesten Theil, während ihre Spitze sich in dem dichten Rauch verliert, der von dem oberen Theil der Flamme ausgeht. Wenn nun der Druck verringert wird, wächst der Durchmesser der Aehre zusehends, besonders um ihre Mitte herum, bis beim Druck von einer Atmosphäre die Flamme ihr gewöhnliches Ansehen annimmt. Verdünnt man die Luft weiter, so vergrößert die Flamme ihren Querdurchmesser auch weiter, bis sie, bei etwa 6 Zoll Quecksilberdruck, fast kugelförmig wird, mit einem Durchmesser von etwa drei Viertelzoll.

Da nun bei den vorhin beschriebenen photometrischen Versuchen die Menge des Brennmaterials in der Flamme constant gehalten ward, so folgt, daß die Vergrößerung der äußeren Oberfläche der Flamme die Umstände der Verbrennung so abändern muß, daß die constante Menge des Brennmaterials mit einer allmählich wachsenden Menge von Sauerstoff in Berührung kommt. Daß selbst unter gewöhnlichen Umständen eine große Menge Luft Zutritt zu dem Innern von Gas- und Kerzenflammen erlangt, ist durch die interessanten Untersuchungen über die Gase dieser Flammen bewiesen, welche neuerlich Hilgard <sup>1)</sup> (welcher 64 Proc. Stickgas im Innern einer Kerzenflamme fand) und Landolt <sup>2)</sup> (welcher 66 Proc. Stickgas im Innern einer Gasflamme entdeckte) angestellt haben; niemals fanden diese Beobachter Sauerstoff in dem leuchtenden Theil der Flamme, obwohl sie ihn im blauen oder nicht leuchtenden Theil nachwiesen. Ich meine daher, daß diese Folgen der Druckverminderung, nämlich die erhöhte Beweglichkeit der Gase und das vergrößerte Volum der Flamme, ganz hinlänglich sind, die aus Druckveränderungen des unterhaltenden Mediums entspringenden Helligkeitsveränderungen zu erklären, und daß diese Veränderungen der Leuchtkraft hauptsächlich, wenn nicht gänzlich, abhängen von dem leichten Zutritt oder comparativen Ausschluss des atmosphärischen Sauerstoffs, in Bezug auf das Innere der Flamme.

1) Annal. der Chem. und Pharm. Bd. XCII, S. 129.

2) Pogg. Ann. Bd. XCIX, S. 389.



Schließlich kann der Einfluss des atmosphärischen Drucks auf die Phänomene der Verbrennung so zusammengefasst werden.

1. Der Gang der Verbrennung von Kerzen und anderen ähnlichen Brennstoffen, deren Flammen auf der Verflüchtigung und der Erglübung brennbarer Theile in Berührung mit atmosphärischer Luft beruhen, wird nicht wahrnehmbar von dem Druck des (die Verbrennung) unterhaltenden Mediums geändert.

2. Der Gang der Verbrennung von sich selbst unterhaltenden Brennstoffen (*self-supporting combustible*), wie die Zeit-Zünder, hängt ab von der Schnelligkeit des Schmelzens der entzündlichen Mischung, welche Schnelligkeit verringert wird durch ein rascheres Entfernen der erhitzten Gase von der Oberfläche der Mischung. Deshalb ist der Gang der Verbrennung von Substanzen dieser Art abhängig von dem Druck des Mediums, in welchem sie verbrannt werden. Bei Zeit-Zündern sind die Zunahmen der Verbrennungszeit proportional den Abnahmen im Druck des umgebenden Mediums.

3. Die Helligkeit gewöhnlicher Flammen hängt von dem Druck des sie unterhaltenden Mediums ab, und innerhalb gewisser Gränzen ist die Abnahme der Leuchtkraft direct proportional der Abnahme des atmosphärischen Drucks.

4. Die Veränderungen der Leuchtkraft von Flammen durch Aenderungen im Druck des sie unterhaltenden Mediums sind hauptsächlich, wenn nicht gänzlich, abhängig von dem leichten Zutritt oder comparativen Ausschluss des atmosphärischen Sauerstoffs, in Bezug auf das Innere der Flamme.

5. Bis zu einer gewissen Minimum-Gränze herab ist die Verbrennung der Flammen desto vollständiger, je verdünnter die Atmosphäre ist, in welcher sie brennen.

## VII. Ueber eine eigenthümliche Stromtheilung bei Entladung der Leidner Batterie; von Feddersen.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. a. d. Ber. der K. Sächs. Ges. d. Wissensch.)

Um die Elektricitätsbewegung, welche bei Entladung eines elektrischen Condensators stattfindet, im Einzelnen näher kennen zu lernen, habe ich ein Galvanometer und ein Dynamometer construirt, welche im Gegensatz zu den meisten der früher gebräulichen Instrumente selbst sehr starken Batterieentladungen bei kurzem gut leitendem Schließungsbogen den Durchgang gestatten, ohne einen Schaden zu erleiden <sup>1)</sup>. Mit beiden Instrumenten habe ich bemerkens-

1) Das Wesentliche liegt besonders in der vollkommenen Isolirung der einzelnen Windungen von einander. Durch Umwickeln der über 1mm dicken Kupferdrähte mit Kautschuck ist dies erreicht.

Ferner findet sich beim Dynamometer die wesentliche Einrichtung, daß die bifilar aufgehängte bewegliche Rolle mit der übrigen Leitung durch Spitzen in Berührung steht, welche in Quecksilber tauchen, das mit verdünnter Schwefelsäure vom spec. Gew. 1,25 übergossen ist. Das logarithmische Decrement läßt sich hierbei leicht unter 0,01 erhalten. Es ist jedoch veränderlich und muß daher bei Vergleichung von Versuchen unter einander häufig in Rechnung gezogen werden.

Die beiden Instrumente zeigen nach der Regel, daß bei Veränderung der elektrischen Spannung das Dynamometer quadratische Werthe von denen des Galvanometers liefert, übereinstimmende Ablenkungen, und können dadurch die Richtigkeit ihrer Angaben bestätigen. Im folgenden Beispiel ist die Entladung von 10 Flaschen durch einen gegen 180mm langen Kupferdraht bewerkstelligt

| Schlagweite. | Ablenkung des |          |
|--------------|---------------|----------|
|              | Galvan.       | Dynamom. |
| 4mm . . . .  | 85,0 . . . .  | 520      |
| 3mm . . . .  | 65,7 . . . .  | 303      |
| 2mm . . . .  | 47,0 . . . .  | 156      |
| 1mm . . . .  | 26,3 . . . .  | 44       |

Bei den Messungen am Galvanometer tritt der Uebelstand ein, daß sich im Magneten zuweilen durch eine Entladung die magnetische Axe etwas verschiebt. Beobachtungen, nach denen solche Verschiebung der magnetischen Axe sich herausstellt, wie es besonders beim Beginn einer

werthe Resultate erlangt, doch möchte ich zunächst nur auf das Galvanometer und eine besondere Art der Verwendung desselben aufmerksam machen.

Es ist bekannt, daß, wenn in einer sehr kurzen Zeit eine Elektrizitätsmenge durch den Leitungsdraht einer Galvanometerrolle hindurchgeht, der Bogen, um welchen der Magnet bei der ersten Elongation aus seiner Ruhe hinausgeworfen wird, dieser Elektrizitätsmenge proportional ist. Da die Entladung einer Leidener Flasche immer nur eine gegen die Schwingungsdauer eines Magnets kurze Zeit in Anspruch nimmt, so ist nach der Theorie der Bogen, um welchen der Magnet bei der ersten Elongation gedreht wird, der entladenen Elektrizitätsmenge proportional').

Will man hiernach ein Galvanometer einfach zu Quantitätsmessungen hindurchgehender Elektrizitätsmengen gebrauchen, so würde man einen mit Spiegel versehenen, an einem Coconfaden hängenden Magnet benutzen, man würde denselben mit einem starken Kupferdämpfer und dann mit einer Drahtrolle umgeben, durch welche der elektrische Strom fließen kann, ohne von Windung zu Windung durchzubrechen. Die Construction desjenigen Galvanometers, wodurch ich die eigenthümliche Stromtheilung beobachtet habe, ist auf solche Weise ausgeführt worden mit der einzigen Ausnahme, daß statt einer Rolle zwei gleiche Drahtrollen angebracht waren, die sich symmetrisch gegen den Magnet stellen ließen, so daß beim Durchfluß derselben Elektrizitätsmenge die eine Rolle dem Magnet dasselbe Drehungsmoment gab, als die andere.

Zum Zweck der Untersuchung wurden die beiden gleichen Rollen dieses Galvanometers an einer Stelle des Schlie-

Beobachtungsreihe stattfindet, müssen als unbrauchbar verworfen werden, weil es sich zeigt, daß ihre Werthe nicht in eine Reihe sonst gleicher Beobachtungswerte hineinpassen.

- 1) Die Beobachtungen zeigen in der That eine Proportionalität der Ausschläge mit der entladenen elektrischen Oberfläche, sowie eine Zunahme mit zunehmender Schlagweite (vergl. die vorhergehende Anmerkung).

lsungsbogens so eingeschaltet, daß sie neben einander von dem elektrischen Strome durchlaufen werden mußten, indem der Strom sich zwischen beiden Rollen theilte. Jede Rolle bildete auf diese Weise einen Zweig zur andern.

Die Drahtenden der Rollen ließen sich nun auf zweierlei Weise mit der Hauptleitung verbinden:

1) Die Verbindung war so, daß der Strom beide Rollen in gleichem Sinn durchlief. Da die beiden Rollen sowohl einander an Windungszahl gleich, als auch symmetrisch gegen den Magnet gestellt waren, so kann ich den erhaltenen Ausschlag

$$A = a + b$$

setzen, wo  $A$  die ganze entladene Elektrizitätsmenge, dagegen  $a$  die durch die eine Rolle gehende,  $b$  die durch die andere Rolle gehende Elektrizitätsmenge bezeichnet.

2) Die Verbindung war so, daß der Strom die Rollen in entgegengesetztem Sinne durchlief, also die eine Rolle den Magnet nach der entgegengesetzten Seite zu drehen suchte, als die andere. Ich erhielt hier den Ausschlag  $a - b$ . Setze ich

$$a - b = B,$$

so ist es klar, daß  $B < A$  seyn mußte. Hatte ich die beiden Rollen mit ihren Zuleitungsdrähten genau gleich gemacht, so gab die Beobachtung, wie nicht anders zu erwarten war,  $B = 0$ .

Bei der letzten Anordnung unter (2), wo gar keine Ablenkung stattfand, schaltete ich nun in jeden Zweig einen kurzen verdünnten Raum ein, welchen die Elektrizität durchbrechen mußte. Die Endigungen der Drähte, oder um mich kürzer auszudrücken, die Elektroden waren an jeder dieser beiden Untersuchungsstellen eine Fläche und ihr gegenüberstehend eine Spitze; jedoch war die Anordnung so getroffen, daß der Weg von der inneren Flaschenbelegung zur äußeren Belegung in dem einen Zweige mit der Richtung von Fläche zu Spitze, in dem andern Zweige umgekehrt mit der Richtung von Spitze zu Fläche zusammenfiel.

Durch diese Einschaltungen, sey es nun durch die ent-

gegensetzte Anordnung von Fläche und Spitze, sey es durch eine Verschiedenheit in der Länge der Luftstrecken, konnte die Leitungsfähigkeit der beiden Zweige eine verschiedene geworden seyn. Ich hätte demnach erwarten können, daß der Ausschlag einen Werth zwischen Null und  $A$  zeigen würde.

So oft ich aber den Entladungsstrom bei diesem Arrangement durch den gut leitenden Schließungsbogen gehen liefs, erhielt ich einen Ausschlag, welcher  $C$  heißen möge, der nicht allein den Werth  $A$  erreichte, wie ich ihn erhalten haben würde, wenn die Elektrizität einfach von Fläche zu Spitze durch den einen Zweig allein abgeflossen wäre, sondern den Werth  $A$  sogar um ein Vielfaches übertraf.

In einem Falle, den ich als Beispiel herausnehme, erhielt ich als Mittel aus zehn Beobachtungen:

| $A$  | $C$ |
|------|-----|
| 21,7 | 230 |

Hier beträgt der Ausschlag  $C$  mehr als das 10 fache von  $A$ . Doch selbst auf das 16fache von  $A$  habe ich den Ausschlag durch Einschaltung jener beiden luftverdünnten Räume steigen sehen, während die gleichzeitige Controle durch das Funkenmikrometer oder durch ein anderes in der Hauptleitung aufgestelltes Galvanometer ergab, daß die Quantität der schliesslich entladenen Elektrizitätsmenge bei allen Anordnungen wesentlich dieselbe war.

Satt verdünnter Luft habe ich an jeder Unterbrechungsstelle zwischen Fläche und Spitze auch Flüssigkeiten einzuschalten versucht, und bei gut leitendem Schließungsbogen ebenfalls für  $C$  einen mehrfach grösseren Werth von  $A$  erhalten, sowie den Sinn des Ausschlags in derselben Weise gefunden, nämlich so, als wenn ein positiver Strom sich von Fläche zu Spitze bewegte. Zugleich schien der Ausschlag grösser und die Explosionerscheinung des Funkens an den beiden Unterbrechungsstellen stärker zu werden mit abnehmendem Leitungsvermögen der Flüssigkeit.

Eine eingehendere Untersuchung dieser eigenthümlichen Ausschlagsvermehrung unter verschiedenen Umständen habe

ich jedoch nur mit verdünnter Luft als unterbrechendem Medium angestellt. Die Beobachtung hat mir folgende Resultate geliefert.

1) Mit dem Grade der Luftverdünnung nahm auch die Ausschlagsvermehrung ab.

2) Eine geringe Verschiedenheit in der Länge der Unterbrechungsstellen war ohne wesentlichen Einfluss auf den Ausschlag; Ungleichheiten oder Discontinuitäten, die an anderen Stellen der Zweig- oder Hauptleitung vorkamen, schienen größeren Einfluss üben zu können.

3) Mit Vergrößerung der elektrischen Oberfläche bei constanter Schlagweite nahm die Ausschlagsvermehrung (jedoch nicht einfach proportional, sondern langsamer) zu.

4) Auch mit Vergrößerung der Schlagweite bei constanter elektrischer Oberfläche nahm die Ausschlagsvermehrung zu.

5) Der Widerstand des Schließungsbogens war von dem allergrößten Einfluss auf die Ausschlagsvermehrung; mit wachsendem Widerstande nahm dieselbe unter sonst gleichen Umständen ab, und bei dem Gränzwiderstande<sup>1)</sup> war der Ausschlag keine Vermehrung mehr, sondern dann fand sich.

$$C < A.$$

6) Wurde der Widerstand noch weiter über den Gränzwiderstand hinaus vermehrt, so wurde nicht nur die Größe der Ablenkung selbst sehr variabel (obschon sie immer  $< A$  blieb), sondern schliesslich ward auch die Seite, nach welcher der Ausschlag erfolgte, wechselnd und unbestimmt; zugleich hatte die Licht- und Farbenercheinung bei der Entladung im luftleeren Raume einen ganz anderen Charakter angenommen.

Hier möchte man wohl die Frage aufwerfen, wie jene bedeutende Vermehrung des Ausschlages durch eine Entladung in einem gut leitenden Schließungsbogen bei dem von mir getroffenen Arrangement zu erklären sey.

1) Ueber den Gränzwiderstand, bei welchem die oscillatorische Entladung in die continuirliche übergeht, s. diese Berichte XIII S. 13.

Gaugain hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß der Inductionsstrom mit verschiedener Leichtigkeit einen luftverdünnten Raum durchbricht, wenn in einem Falle die positive, Elektrizität von einem beschränkten Punkte zu einer ausgedehnten Oberfläche, im anderen Falle umgekehrt von einer ausgedehnten Fläche zu einem beschränkten Punkte der Leitung strömen muß<sup>1)</sup>. Wenn man nun bei meinen Versuchen eine ungleiche Theilung des Stromes in beiden Rollen annimmt, so ist ein einfaches ungleiches Abfließen der Elektrizität doch nicht im Stande, den bedeutenden Ausschlag zu erklären. Denn wenn im günstigsten Falle der Theilung — den die Wahrnehmung einer Lichterscheinung an den *beiden* Unterbrechungsstellen sogar noch ausschließt<sup>2)</sup> — die Elektrizität durch einen Zweig allein ab-

1) Wenn das Princip von Gaugain zur Sonderung entgegengesetzter Ströme nicht nur empfohlen, sondern auch schon angewandt ist, so gehe ich vorläufig doch weder auf seine Beobachtungen, noch auf die von Riefs in den Berl. Monatsber. Juni 1855 veröffentlichten Beobachtungen näher ein, weil ich keine vollständige Uebereinstimmung der beiden Beobachter, sey es in ihren Resultaten, sey es in der Deutung derselben, finde. Nur soviel will ich bemerken, daß die von Riefs nach dem Gaugain'schen Princip an der Leidener Flasche gemachten Beobachtungen am Leichtesten mit meinen Beobachtungen in Einklang zu bringen sind.

2) Falls sich der Strom in bestimmter Weise zwischen den beiden Zweigen theilte, müßte das Dynamometer, an die Stelle des Galvanometers gesetzt, über das Verhältniß der Theilung Aufschluß geben können. Ich ließ daher unter sonst gleichen Umständen eine mit Galvanometer und Funkenmikrometer als gleich befundene Elektrizitätsmenge einmal *ohne* Anwesenheit der luftverdünnten Räume in den beiden Zweigen sich zwischen der Dynamometerrolle theilen, wobei ich als Mittel aus zehn Beobachtungen den Ausschlag

103

erhielt, ein andermal sich *mit* Anwesenheit der beiden luftverdünnten Räume in den beiden Zweigen theilen, wobei ich den Dynamometer-ausschlag

40

im Mittel erhielt.

Wenn die Elektrizitätsbewegung in beiden Fällen genau dieselbe wäre und der Strom sich im ersten Falle in einem gleichen Verhältniß, im zweiten in einem ungleichen aber *constanten* Verhältniß zwischen



flösse, so könnte doch durch ein einmaliges einfaches Abfließen nur ein Ausschlag von der GröÙe *A* zu Stande kommen, während der Versuch ein Vielfaches von *A* liefert.

Ich will mich auf eine Erklärung hier nicht, weiter einlassen, sondern nur bemerken, daß ich anders keine Möglichkeit der Erklärung einsehe, als wenn man die Annahme eines einfachen, sey es continuirlichen, sey es discontinuirlichen, Abfließens aufgibt, und seine Zuflucht nimmt zu der Theorie der Oscillationen<sup>1)</sup>.

*Zusatz. Beschreibung des im Vorstehenden erwähnten Apparats.*

*AB*, Taf. II Fig. 3, ist ein Glascyliner, auf der einen Seite durch die Glasplatte *P*, auf der andern durch die Messingfassung *M* luftdicht geschlossen. Ein Rohr *p* mit Hahn, sowie eine Barometerprobe *m* dienen zum Herstellen und zum Bestimmen der Luftverdünnung. Auf *P* wie auf *M* befindet sich ferner eine Stopfbüchse (*s*), durch welche sich der Draht *ed*, respective *fg*, luftdicht hin und her schieben läßt. Der eine Draht endigt im Innern des Glascyinders in der Platte *g*, der andere ebendort in der Spitze *d*; außerdem ist der letztere auf seiner halben Länge bis zur äußersten Spitze hin mit einer isolirenden Schicht überzogen, die Spitze selbst endigt in einer freien sehr kleinen Fläche. Auf der Mitte des Glascyinders befindet sich ferner eine Fassung (*aa*), durch welche luftdicht ein Draht geht, der die Platte *c* in einer zum Drahte *d* senkrechten Lage festhält. Die Rückseite der Platte *c* ist mit isolirender Sub-

beiden Dynamometerrollen theilte, so müßte bei dem Ausschlage 40 in jedem Momente durch den einen Zweig 11 Proc., durch den andern 89 Proc. gegangen seyn, während bei dem Ausschlage 103 durch jede Rolle 50 Proc. gehend angenommen werden. Diefes Raisonnement gilt auch bei Annahme von Oscillationen, wenn überhaupt ein von der Stromstärke unabhängiges constantes Theilungsverhältniß existirt, ein Punkt, über den ich bis jetzt noch nichts Bestimmtes aussagen kann. Das unter 6. angeführte Resultat, sowie die Beobachtungen von Riefs und Gaugain scheinen eher dagegen zu sprechen.

1) Vergl. diese Berichte XI, S. 171 u. f., sowie Pogg. Ann. 113 S. 438 u. f.

stanz überzogen, ebenso der Draht *h*, welcher senkrecht in die Platte eingeschoben ist; nur die Endigung der Spitze dieses Drahtes ist frei.

Durch die Klemmschraube *b* kann man nun die Fläche *c* und die Spitze *h* mit dem Funkenmikrometer und durch dieß mit dem Innenbeleg der Batterie in Verbindung setzen. Da *e* und *f* durch zwei gleiche angelöthete Drähte, die kürzer oder länger, gerade ausgespannt oder beide in gleicher Weise spiralförmig aufgewunden seyn können, schließ- lich wieder zu einer Hauptleitung, (welche zum Außenbe- leg leitet) zusammengeführt werden, so müßte die Elektri- cität der geladenen Batterie sich in jedem Moment gleich- mäßig zwischen den beiden Wegen *cde* etc. und *hgf* etc. theilen, wenn der Uebergangswiderstand auf der Strecke *cd* und *hg* in jedem Momente und bei jeder Stromrichtung gleich wäre.

## VIII. Zur Kenntnifs des Verwesungsprocesses; von H. Karsten.

### Zweiter Beitrag.

#### Oxydation der in der Atmosphäre enthaltenen gasförmigen Kohlenstoffverbindungen.

Die von mir im Bd. 109, S. 346 dieser Annalen mitge- theilten Versuche über die Oxydation kohlenstoffhaltiger, organischer Verbindungen lieferten den Beweis, daß diese Körper mit dem Sauerstoffe der Atmosphäre bei gewöhn- licher Temperatur sich zu Kohlensäure und Wasser verbind- en, daß die Gegenwart von stickstoffhaltigen Verbindun- gen, welche bisher die Chemie anzunehmen für nöthig hielt, um den Verwesungsproceß einzuleiten, nicht von Bedeutung für den Oxydationsproceß ist, daß selbst reine

Kohle in der Luft auch bei gewöhnlicher Temperatur, nur langsamer sich zu Kohlensäure oxydirt, wie dies durch Erhöhung der Temperatur in beschleunigter Weise geschieht.

Ferner zeigte ich dort, daß auch unter Wasser befindliche organische Kohlenstoffverbindungen mit dem Sauerstoffe der Luft in hinreichende Berührung gebracht, Kohlensäure geben und zwar in größerer Menge als im trocknen Zustande. Bei unvollkommener Einwirkung des Sauerstoffgases gehen sie in diesem Zustande in Fäulniß über, d. h. sie geben neben Kohlensäure auch Kohlenwasserstoffgase und andere gasförmige, bisher meistens nicht genau bekannte Verbindungen; während sie bei vollkommenem Abschlusse des Sauerstoffs unverändert bleiben <sup>1)</sup>.

Es blieb nun nach dem Abschlusse jener Untersuchungen noch übrig zu bestimmen, wie sich diese gasförmigen Kohlenstoffverbindungen des Fäulnißprocesses und die neben ihnen in der Atmosphäre vorhandenen dampfförmigen und festen organischen Körper (Riechstoffe etc.) während ihrer Verbreitung in der Atmosphäre verhalten; welche für den Lebensproceß des thierischen Organismus (als Miasmen) von so hoher Bedeutung sind.

Schon die Ergebnisse jener Arbeit machten es höchst wahrscheinlich, daß auch diese Kohlenstoffverbindungen in Berührung mit freiem Sauerstoffe in ähnlicher Weise wie jene verändert werden würden, doch schien es mir im Interesse der Wissenschaft erwünscht, durch das Experiment diese Vermuthung zu bestätigen.

Zwei Methoden boten sich zu diesem Zwecke dar, die als sich einander ergänzend, beide auszuführen waren.

*Erstens* nämlich muß atmosphärische Luft, welche flüchtige Kohlenstoffverbindungen enthält, wenn sie durch eine

- 1) Daß auch durch lebende Pflanzen unter gewissen Umständen Kohlenwasserstoff- und Kohlenoxyd-Gas ausgeschieden wird, wurde während der Ausführung der hier mitgetheilten Versuche durch Boussingault (*Compt. rendus Nov. 1861*) nachgewiesen, so wie Pasteur andererseits auf eine größere Quantität fester organischer Stoffe, welche in der bewegten Atmosphäre sich schwebend erhalten, aufmerksam gemacht hat. (*Annales de chimie 1862 Jan.*)

Kette von abwechselnd mit atmosphärischer Luft und mit Kalkwasser angefüllten Behältern geleitet wird, an jeden der letzteren so lange Kohlensäure abgeben, bis alle in ihr enthaltenen Kohlenstoffverbindungen gänzlich oxydirt sind und zwar in den ersten Behältern gröfsere in den letztern geringere Mengen von Kohlensäure, wenn die zwischen ihnen eingeschalteten lusterfüllten Räume, gleich grofs sind.

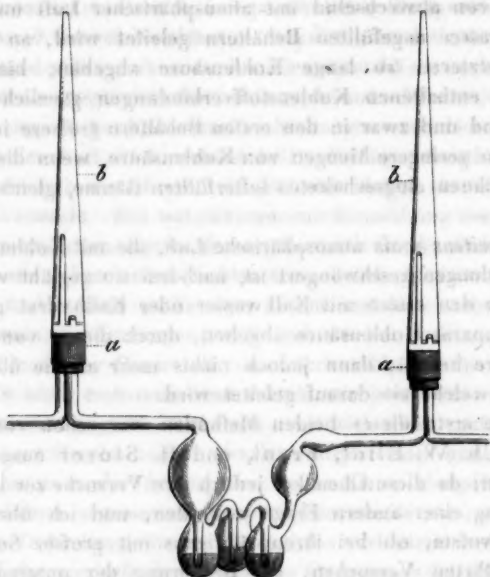
*Zweitens* mufs atmosphärische Luft, die mit Kohlenstoffverbindungen geschwängert ist, nachdem sie geglüht wurde, nur an den ersten mit Kalkwasser oder Kalihydrat gefüllten Apparat Kohlensäure abgeben, durch diesen von Kohlensäure befreit, dann jedoch nichts mehr an die übrigen, durch welche sie darauf geleitet wird.

Die erste dieser beiden Methoden war schon von den HH. Ch. W. Eliot, Frank und H. Storer ausgeführt worden; da diese Chemiker jedoch ihre Versuche zur Beantwortung einer andern Frage anstellten, und ich überdies nicht wufste, ob bei ihren, übrigens mit grofser Sorgfalt ausgeführten Versuchen, die Berührung der untersuchten Luft mit den zur Verbindung der verschiedenen Apparate angewendeten organischen Substanzen (Kork, Kautschuck), welche nothwendiger Weise das Resultat trüben mufsten, vermieden worden war, wiederholte ich selbst dieselben.

Die umstehende Figur zeigt einen der mit Kalkwasser gefüllten Apparate, deren ich mich mehrerer, zu einer zusammenhängenden Kette verbunden, zu meinen Versuchen bediente. Der Pfropfen *a* ist mit einer hinreichenden Schicht von Quecksilber bedeckt, um die durch das aufgesetzte Rohr *b* hindurchstreichende atmosphärische Luft an der Berührung mit demselben zu hindern.

Das Quecksilber wird durch die sehr langausgezogene Spitze des Rohres *b* in dasselbe vermittelt eines anderen, ähnlichen, noch länger und dünner ausgezogenen, als Stechheber dienenden Rohres eingefüllt.

Vor dem Füllen der Apparate mit Kalkwasser wurde die darin enthaltene Luft durch kohlensäurefreie Luft er-



setzt; ebenso wurde das Rohr *b*, welches zwei Apparate mit einander verbindet, sogleich nach dem Aufsetzen auf den Pfropfen vermittelt eines langausgezogenen Rohres mit kohlenensäurefreier Luft gefüllt, dann das Quecksilber hineingefüllt, hierauf wieder in dasselbe entkohlenäsüerte Luft hineingetrieben (um die etwa während der letzten Operation hineingetretene atmosphärische Luft zu entfernen) und dann dasselbe sofort in der Mitte seiner lang ausgezogenen Spitze rasch zugeschmolzen.

Die zur Untersuchung durch den Apparat geleitete Luft wurde nicht hindurchgesogen, sondern hineingedrückt, wodurch um so mehr der Eintritt von Luft an einer etwa nicht schließenden Verbindungsstelle vermieden wurde <sup>1)</sup>.

1) Uebrigens war bei dem Beginne des Versuches der ganze Apparat vollkommen luftdicht hergestellt, und es trat keine Lockerung der Verschlüsse während der Dauer des Versuches ein.

E  
mosp  
währ  
nen  
den  
mufs  
sehr  
welc  
größ  
klein  
Kalk  
ches  
näch  
I  
sen,  
den  
Luft  
wur  
drei  
nich  
saur  
Eint  
die  
ist  
was  
den  
gall  
die  
Lös  
sehr  
Aet  
aus  
pre  
reic

Bei der Ausführung der ersten Methode, ungeglühte atmosphärische Luft durch den Apparat zu leiten, die dann, während der andauernden Oxydation der in ihr enthaltenen Kohlenstoffverbindungen, in allen, besonders aber in den ersten Apparaten etwas kohlensauren Kalk erzeugen mußte, ersetzte ich eins der kleinen Röhren *b* durch ein sehr großes 200 Cubikcentimeter enthaltendes Rohr, in welchem sich, falls meine Voraussetzung richtig war, eine größere Menge von Kohlensäure bilden mußte, als in den kleinen Röhren, mithin der auf dies Rohr folgende mit Kalkwasser gefüllte Apparat nach Beendigung des Versuches mehr kohlensauren Kalk enthalten mußte, als der zunächst vorhergehende.

120 Liter Luft wurden so langsam, in einzelnen Blasen, durch den Apparat hindurchgeprefst, daß in 12 Stunden etwa 5 Liter hindurchgingen.

Um diese zu dem Versuche verwendete atmosphärische Luft von der in ihr enthaltenen Kohlensäure zu reinigen, wurde dieselbe, bevor sie in das Kalkwasser trat, durch drei mit Kalihydrat gefüllte Apparate geleitet.

Wie früher (Bd. 109, S. 349) beschrieben, bildet sich nicht der weiße undurchsichtige Niederschlag von kohlensaurem Kalk an den Wandungen des Glasrohres bei der Eintrittsstelle der Kohlensäure in das Kalkwasser, wenn die in dasselbe eintretende Menge Kohlensäure sehr geringe ist (besonders in der Kälte), sondern nur Krystalle von wasserhaltigem kohlensaurem Kalk, die sich auf dem Boden und an den Wandungen der Glaskugel neben etwas gallertartig aussehendem Kalkhydrat absetzen. Da nämlich die durch den Apparat geleitete Luft in der concentrirten Lösung von Kalihydrat, durch die es zuerst hindurchgeht, sehr ausgetrocknet wird, führt sie aus der concentrirten Aetzkalklösung Wasser fort, weshalb sich etwas Kalkhydrat ausscheidet.

Schon nachdem 60 Liter Luft durch den Apparat geprefst waren, zeigte sich an dem untern in das Kalkwasser reichendem Ende des ersten Rohres desjenigen Apparates,

welcher auf das große luftgefüllte Rohr folgte auf seiner inneren Wandung der bekannte weisse Beschlag von kohlen- saurem Kalk, während alle Röhren der übrigen Appa- rate noch bei Beendigung des Versuchs frei von demselben waren. Dem entsprechend enthielt auch dieser Apparat eine größere Menge von krystallisirtem kohlen- saurem Kalk wie die übrigen, welche, wenn auch unwägbare Mengen doch deutlich Spuren von demselben erkennen ließen und zwar durch die Entwicklung von Luftblasen, wenn nach der Entfernung des Kalkwassers durch kohlen- säurefreie Luft einige Tropfen Salzsäure auf den Absatz gebracht wurden.

Das Ergebniss dieses einen Versuches allein beweist jedoch noch nicht die Richtigkeit der Voraussetzung einer in der Atmosphäre andauernd vorsichgehenden Oxydation von Kohlenstoffverbindungen; es könnte demselben entgegen- gesetzt werden, daß die Lösung von Kalihydrat nicht hinreichend gewesen sey, die schon in der Atmosphäre vor- handene Kohlensäure zu binden, oder auch, daß eine Lö- sung von Kalihydrat oder Kalkwasser überhaupt nicht im Stande sey die atmosphärische Luft gänzlich von Kohlen- säure zu befreien. Die letztere Ansicht ist wirklich von sehr tüchtigen Chemikern, z. B. von den Hrn. Eliot und Storer aufgestellt worden, und diese führten in der Ab- sicht, die Richtigkeit derselben zu beweisen, ihre in den *Proceedings of the american Academy of arts and sciences* Sept. 1860 veröffentlichten Versuche aus.

Wie erwähnt scheinen diese Chemiker nicht die noth- wendigen Maafsregeln getroffen zu haben, die von ihnen untersuchte Luft, während des Durchstreichens durch ihre Apparate von der Berührung mit organischen Substanzen fern zu halten, so daß eine zweifache Fehlerquelle das Ergebniss ihrer Versuche trübte <sup>1)</sup>. Die eine derselben ver-

1) Die Bildung von Kohlensäure in einem Kautschukrohre durch die Oxydation desselben während des Durchgangs von atmosphärischer Luft ist ganz bedeutend. An das Ende des oben beschriebenen Apparates brachte ich ein fußlanges, rabenkiel dickes Rohr von sogenanntem vul-



mied ich durch die oben gezeigte Zusammenstellung meines Apparats. Das Vorhandenseyn der zweiten bestätigte sich durch meinen zweiten Versuch, bei welchem ich die Luft, vor dem Durchgange durch den Apparat, in einem 1 Meter langen und 15 Centimeter weiten, mit Kupferoxyd gefüllten Platinrohre glühte, so dafs alle etwa in der Atmosphäre enthaltenen, gasförmigen Kohlenstoffverbindungen durch diese Operation in Kohlensäure verändert seyn mußten, bevor sie durch die Kali- und Kalk-Hydratlösung gewaschen wurde.

Auch hier wurde, wie in dem ersten Versuche, die zu prüfende geglühte Luft zuerst durch drei der oben gezeichneten mit Kalihydrat gefüllten Apparate und dann erst durch Kalkwasser geleitet. Ebenso wurden auch bei diesem Versuche 120 Liter atmosphärische Luft und zwar während 12 Stunden etwa 5 Liter Luft durch den Apparat geleitet.

Nach Beendigung dieses Versuches erschienen alle mit Kalkwasser gefüllten Apparate vollkommen unverändert (ausgenommen, dafs sich ihr flüssiger Inhalt etwas verringert hatte) Krystalle hatten sich nicht abgeschieden, dagegen, ebenso wie bei dem ersten Versuche, etwas gallertartiges Kalkhydrat. Eine Gasentwicklung, nach dem Hinzuthun von Salzsäure, unter oben angegebenen Vorsichtsmaafsregeln, konnte bei der aufmerksamsten Beobachtung

kanisirtem Kautschuk, welches mit einem mit Kalkwasser gefüllten Kugelapparate in Verbindung stand, in welchem die durch das Kautschukrohr geleitete kohlenensäurefreie Luft nochmals gewaschen wurde. Nach Beendigung des oben beschriebenen Versuches, war die ganze unter Kalkwasser stehende Oberfläche des Glasapparates mit Krystallen von kohlensaurem Kalke bedeckt. Um annähernd quantitativ die in dem Kautschukrohre gebildete Kohlensäure zu bestimmen, liefs ich während 14 Wochen durch ein 3,2 Meter langes Kautschukrohr, dessen innerer Durchmesser 4,7<sup>mm</sup> betrug, einen sehr langsamen Strom trockner, kohlenensäurefreier Luft hindurchgehen, die dann durch eine gewogene Quantität von Kalihydrat gewaschen und darauf wie Bd. 109, S. 349 beschrieben, durch Chlorcalcium getrocknet wurde. Die gewogenen Apparate hatten nach Beendigung des Versuchs um 0,1166 Grm. zugenommen.

nicht erkannt werden; es hatte sich augenscheinlich kein kohlen-saurer Kalk gebildet.

Dieser Versuch beweist demnach *erstens*, daß eine Lösung von Kalihydrat die in der Atmosphäre enthaltene Kohlensäure vollkommen zu absorbiren vermag, und *zweitens*, daß vorsichtig und hinreichend geglühte Luft, nachdem sie durch Kalihydrat geleitet wurde, frei von Kohlensäure ist und bleibt; während ungeglühte Luft durch denselben Apparat geleitet und durch die gleiche Menge Kalihydrat gewaschen, noch ferner deutlich erkennbare Mengen von Kohlensäure an letzteres abgibt, die sich also während des Durchgangs der Luft durch den Apparat gebildet haben muß. Schließlich kann ich nicht unterlassen, Herrn Dr. Finkener meinen Dank hierdurch öffentlich auszusprechen für seine bereitwillige Unterstützung bei Zusammenstellung der complicirten Apparate im Laboratorium des Hrn. H. Rose.

### IX. *Resultate einer Untersuchung über die Phosphorescenz verdünnter Gase;* *von Morrem.*

(Compt. rend. T. LIII p. 794.)

1. Reines und trocknes Sauerstoffgas, bis zu welchem Grade man es auch verdünne, phosphorescirt niemals nach dem Durchgang des Inductionsfunken.

2. Jedes andere, einfache oder zusammengesetzte Gas zeigt auch, für sich allein, niemals das Phänomen der Phosphorescenz bei der Verdünnung.

3. Ein Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, in dem Verhältniß 37 auf 100 Sauerstoff giebt zu einer Phosphorescenz Anlaß, aber sie ist schwach und wenig dauerhaft.

4. Hervortretender wird die Phosphorescenz, wenn man

diesem Gasgemenge etwas Dampf von Salpetersäure-Monohydrat zusetzt.

5. Glänzend und andauernd wird die Phosphorescenz, wenn man dem vorstehenden Gemenge entweder einen Tropfen Nordhäuser Schwefelsäure oder ein Minimum von wasserfreier Schwefelsäure zusetzt.

6. Zu demselben Resultat gelangt man, wenn man durch ein verdünntes Gemenge von 200 Sauerstoff, 100 Stickstoff und 150 schwefliger Säure einige Augenblicke Funken durchschlagen läßt.

7. In allen diesen Fällen wird die Phosphorescenz erzeugt durch die folgeweise Zersetzung und Wiederzusammensetzung eines sonderbaren, den Chemikern wohl bekannten Körpers, der zwar keinen Namen hat, aber durch die Formel  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  ausgedrückt wird. Es ist der Körper, der sich bei der Fabrication der Schwefelsäure bildet. Ist er dampfförmig und sehr verdünnt, so zerlegt ihn der Funke beim Hindurchgehen in zwei Theile:  $\text{NO}_3$  und  $2\text{SO}_3$ , die eine nur schwache Verwandtschaft zu einander haben. Hört der Durchgang der Elektricität auf, so können die Bestandtheile  $\text{NO}_3$  zu  $2\text{SO}_3$  nicht mehr in Dampfgestalt neben einander und besonders neben Sauerstoff bestehen, ohne nicht abermals die Verbindung zu bilden. Während die beiden Bestandtheile sich trennen und während sie getrennt sind, findet die Phosphorescenz statt. Alles läßt glauben, daß die wasserfreie Schwefelsäure bei ihrem Uebergang aus dem dampfförmigen in den starren Zustand der Sitz dieser Lichterscheinung ist.

8. Die Schwefelsäure ist nicht die einzige Säure, welche dieses Phänomen zu erzeugen vermag, auch Salpetersäure (und wahrscheinlich manche andere Säure) bietet es dar. Diese Thatsache scheint zu der Vermuthung zu führen, daß es eine der obigen analoge Verbindung giebt, in welcher  $\text{SO}_3$  durch  $\text{NO}_3$  ersetzt ist.

9. Mittelst des in der ausführlichen Abhandlung beschriebenen Apparats läßt sich die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  direkt unter Einfluß des Inductionsfunken darstellen.

10. Um sehr starke und sehr lange leuchtende Geissler'sche Röhren zu bekommen, muß man reines und trocknes Stickgas nehmen, nicht Kohlensäure, welche, obwohl auch leuchtend, das Ueble hat, sich ziemlich leicht zu zersetzen. Man muß ihm Quecksilberdampf beimengen, indem man die Luft nicht mittelst der Luftpumpe, sondern mittelst des Barometers verdünnt.

11. Die Gasspectren können hiebei, wenn man die wohl bekannten Striche des Quecksilbers abzieht, selbst im vollen Tageslicht mit sehr großer Leichtigkeit und Genauigkeit studirt und gezeichnet werden. Um ein in jeder Beziehung genaues Spectrum zu erhalten, braucht man das Prisma nur successive für jeden Strich des Spectrums auf das Ablenkungsminimum einzustellen und immer ein hohles, mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Prisma, das durch zwei parallellflächige Quarzplatten verschlossen ist, anzuwenden; Flintglasprismen haben nicht immer ein gleiches Brechvermögen.

12. Bei einer zu großen Länge und einer zu starken Evacuation der Barometerröhre kann man endlich den Strom nur durchleiten, wenn er eine sehr große Spannung besitzt, und in diesem Fall zeigt die prismatische Analyse des schwachen Lichtes, welches hindurchgeht, daß die Elektricität die lange Strecke nur zu durchbrechen vermag, indem sie Metalltheilchen von beiden Elektroden losreißt und sich somit gleichsam eine Brücke von materiellen Moleculen schafft.

Die  
Unter  
elektr  
stimm  
Zahle  
Metall  
nicht  
talles  
den  
tungs  
Drah  
Leitu  
const

B  
sind,  
Metall  
die A  
Stand  
D  
ständ  
Ann.  
nung  
erhitz  
F (4